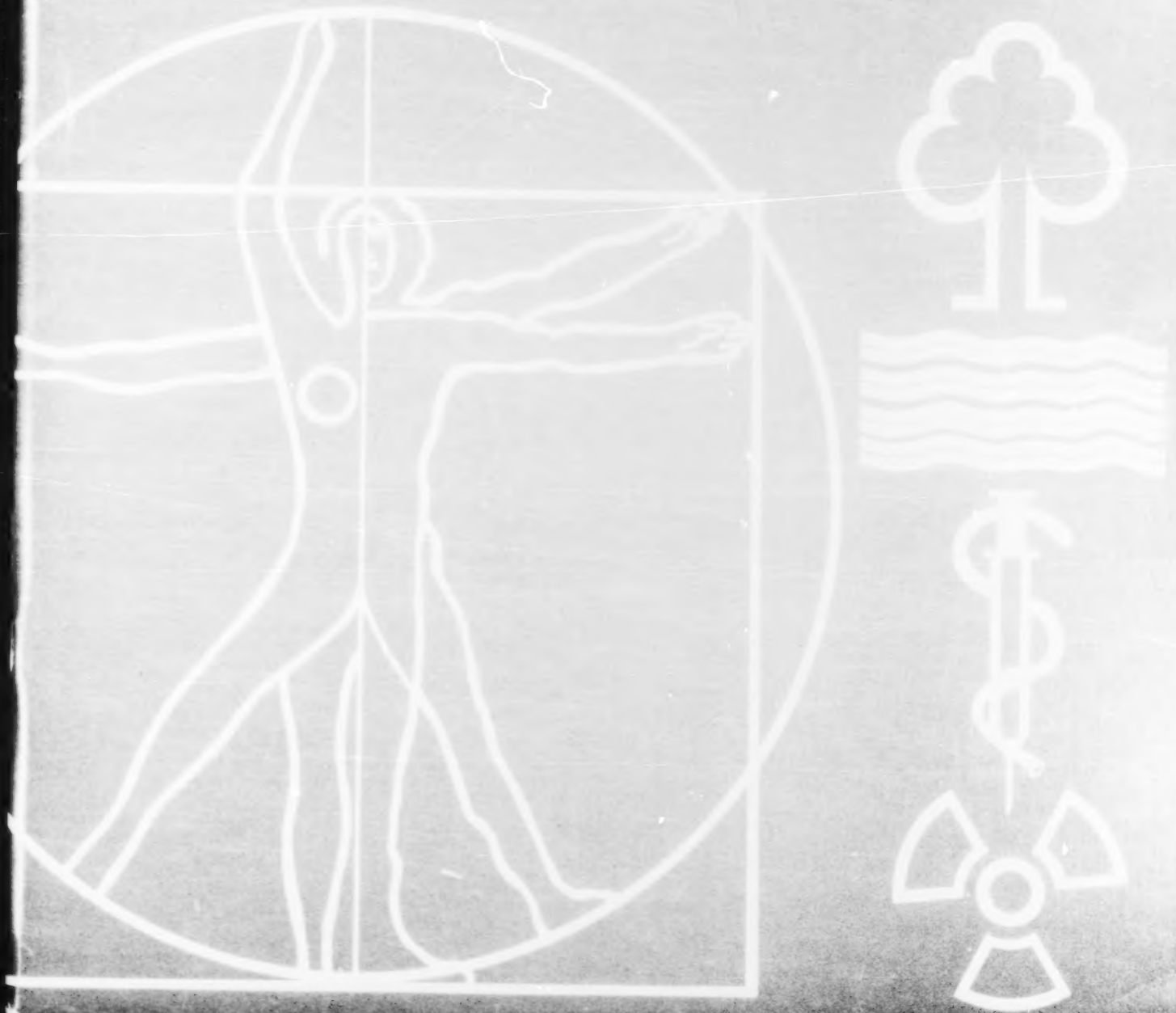
Canada

Santé et Bien-être social Canada
Health and Welfare Canada

79-EHD-33

# mise à l'épreuve, en laboratoire, d'appareils à rayons ultraviolets pour purifier l'eau potable au point d'utilisation



AA-000212/

# MISE À L'ÉPREUVE, EN LABORATOIRE, D'APPAREILS À RAYONS ULTRAVIOLETS POUR PURIFIER L'EAU POTABLE AU POINT D'UTILISATION

Direction de l'hygiène du milieu
Direction générale de la protection de la santé

Publication autorisée par le ministre
de la Santé nationale et du Bien-être social

Avril 1979

79-EHD-33

VOUS POUVEZ VOUS PROCURER
CE RAPPORT AUPRÈS DE LA:

Direction de l'information
Ministère de la Santé nationale
et du Bien-être social
Immeuble Brooke Claxton
Ottawa K1A 0K9

## REMERCIEMENTS

Ce rapport, préparé par le docteur R.S. Tobin du Bureau des dangers des produits chimiques, est le résultat de travaux qui ont été menés par les Dearborn Environmental Consulting Services. Les responsables remercient sincèrement le docteur V.C. Armstrong, du Bureau des dangers des produits chimiques, qui a agi en qualité d'expert scientifique, et messieurs I. Marvan et R. Kissel, des Dearborn Environmental Consulting Services, pour l'aide qu'ils ont apportée à la préparation de ce document.

## RÉSUMÉ

Un protocole a été élaboré pour la mise à l'épreuve d'appareils servant à traiter l'eau, à l'aide de rayons ultraviolets, au point d'utilisation, afin de détruire les microorganismes qu'elle contient. Trois purificateurs vendus dans le commerce, présentant chacun des caractéristiques particulières, ont été mis à l'épreuve dans des conditions semblables à celles qui prévalent dans le traitement de l'eau contaminée par des bactéries. Des doses d'Escherichia coli (environ 5000 bactéries/100 mL) ont été utilisées. Deux des appareils se sont révélés efficaces à 4°C et à 22°C au débit moyen prévu par le constructeur, à la moitié de ce débit et à des débits supérieurs à celui qui avait été prévu. L'autre appareil, dont la lampe à rayons ultraviolets n'était pas protégée du contact avec l'eau par une gaine de quartz, n'a pas réussi à éliminer complètement les bactéries de l'eau à 4°C, quel que soit le débit. Au débit recommandé par le fabricant, l'eau traitée à 4°C contenait encore 15.8 colonies/100 mL (soit, de 6 à 26 colonies/100 mL).

A la lumière de ces résultats, on peut conclure que chaque appareil devrait comporter un dispositif de mesure de la lumière ultraviolette calibré avec soin, de même qu'un avertisseur ou un dispositif à sécurité intégrale. Plusieurs recommandations sont faites au sujet de la conception et des modes de fonctionnement des appareils de traitement de l'eau par les rayons ultraviolets.

## TABLE DES MATIÈRES


| | Page |
|---|---|
| INTRODUCTION | 1 |
| MATÉRIEL ET MÉTHODES | 3 |
| Microorganisme indicateur | 3 |
| Paramètres mesurés | 4 |
| Système de mise à l'épreuve | 5 |
| Protocole de mise à l'épreuve | 7 |
| RÉSULTATS | 9 |
| Culture | 9 |
| Rendement énergétique de la lumière ultraviolette | 9 |
| Pouvoir bactéricide | 10 |
| DISCUSSION | 12 |
| RECOMMANDATIONS | 14 |
| BIBLIOGRAPHIE | 15 |
| TABLEAUX | 16 |
| FIGURES | 38 |

## INTRODUCTION

La sensibilisation du public à l'existence possible de contaminants dans l'eau, et l'intérêt indéfectible qu'il porte à des activités récréatives dans des endroits où l'approvisionnement en eau potable peut faire défaut, ont fait augmenter l'utilisation de purificateurs d'eau. Le Bureau des dangers des produits chimiques de la Direction de l'hygiène du milieu, a entrepris des études pour évaluer l'efficacité de certains de ces dispositifs, et les résultats d'une enquête sur les différents genres de purificateurs disponibles sur le marché et sur les méthodes de mise à l'épreuve de ces appareils, ont déjà été publiés (1). Au nombre de ces appareils, les stérilisateurs à rayons ultraviolets (UV) sont un choix possible lorsque la présence de bactéries ou de virus pathogènes paraît être l'un des problèmes de prime importance que pose l'eau.

Le traitement avec les radiations ultraviolettes ne nécessite aucun produit chimique et ne modifie aucunement le goût de l'eau; il agit rapidement et le matériel ne requiert que peu d'entretien; les changements de débit, pourvu qu'ils restent dans les limites prévues par le constructeur, ne présentent aucun problème; le surdosage, loin de constituer un danger est considéré comme un facteur de sécurité.

Les purificateurs d'eau a rayons ultraviolets sont équipés d'une lampe à vapeur de mercure à basse pression dont environ 85 pour cent des radiations émises se situent aux environs de 253.7 nm (2). Dans ce système, l'eau est soumise à l'action des radiations ultraviolettes au moment où elle passe dans un cylindre où se trouve la lampe à UV. L'action germicide de la lampe est le résultat de l'action des radiations sur les acides nucléiques des bactéries et est fonction de l'intensité de la lumière et du temps d'exposition selon l'équation suivante (3):

$$N = N_o \exp \frac{-Et}{Q}$$

où:

N désigne le nombre de bactéries qui survivent au traitement

$N_o$ le nombre de bactéries avant le traitement

E est l'intensité des radiations ultraviolettes

t le temps d'exposition

et Q l'exposition exprimée on fonction d'une unité d'exposition létale.

Afin de mesurer l'effet de différents temps d'exposition, les purificateurs ont été mis à l épreuve à différents débits (ex., temps d'exposition) soit: au débit moyen prévu par le constructeur, à la moitié du débit prévu par le constructeur et à un débit supérieur au premier.

Un certain nombre de facteurs peuvent influer sur l'intensité de la lumière ultraviolette. Ce sont:

- La température: la température de fonctionnement optimale de la lampe est d'environ 40°C. Si la lampe refroidit au contact de l'eau, son rendement énergétique peut baisser considérablement.

- La tension de secteur: une chute de la tension de secteur peut provoquer une réduction importante du rendement énergétique de la lampe.

- L'usure de la lampe: les radiations ultraviolettes émises par une lampe neuve diminuent d'environ 20 pour cent au cours des 100 premières heures de fonctionnement. Par la suite, au cours des 7000 à 8000 heures d'utilisation, le changement n'est que minime. Après 7500 heures de fonctionnement, le rendement de la lampe est encore de 70 pour cent environ de sa valeur initiale. Les fabricants de lampes recommandent normalement de changer celles-ci après 7500 heures d'utilisation, ou tous les 10 à 12 mois.

- La composition de l'eau: la présence dans l'eau de particules en suspension ou d'une coloration, de fer dissous et de composés organiques peut modifier le rendement de la lampe. L'agglutination de microorganismes, la présence de particules qui protègent ceux-ci contre les rayons et l'absorption des radiations ultraviolettes réduiraient l'efficacité du purificateur. Quant au fer, il peut se déposer sur la lampe émettrice elle-même ou sur la gaine de quartz qui l'entoure et nuire à la pénétration des rayons dans l'eau.

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

### Purificateurs à ultraviolets

Trois purificateurs vendus dans le commerce et conçus pour traiter l'eau au point d'utilisation, ont été mis à l'épreuve. Le tableau suivant contient leurs caractéristiques:

| Purificateur | Débit prévu par le constructeur en L/min | Appareil de mesure | Puissance de la lampe (watts) | Exposition aux rayons UV au débit prévu par le constructeur, $\mu$watt.sec/cm$^2$ | Gaine de quartz[c] | Raclette mécanique[d] | Matériau[e] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 30.1 | Oui[a] | - | - | Oui | Oui | Acier inoxydable |
| B | 30.1 | Oui[a] | 40 | 35 000 | Oui | Non | Acier inoxydable |
| C | 7.6 | Non[b] | 30 | 31 870 | Non | Non | Plastique A.B.S. |

a. Facultatif

b. Une diode émettant de la lumière avertit que la lampe reçoit suffisamment de courant pour bien fonctionner.

c. La présence ou l'absence d'une gaine de quartz qui sépare la lampe ultraviolette de l'eau.

d. La présence ou l'absence d'une raclette mécanique pour nettoyer la surface en contact avec l'eau.

e. Le matériau dont est construit la gaine externe (acier inoxydable ou plastique A.B.S.).

### Microorganisme indicateur

Aux fins de ces épreuves, la souche d'Escherichia coli ATCC-25922 a été choisie comme organisme indicateur. D'après le catalogue de l'American Type Culture Collection (ATCC), rien n'indique que cette souche serait anormalement résistante ou sensible aux radiations ultraviolettes. Cette souche d'E. coli a, de plus, été utilisée pour faciliter éventuellement toute étude comparative.

En ce qui concerne la technique de la membrane filtrante pour la numération des coliformes totaux, les méthodes et le matériel employés ont été choisis d'après le manuel de l'American Public Health Association intitulé "APHA Standard Methods", 14$^e$ édition (5); quelques modifications ont été apportées afin d'assurer des récupérations maximales. La méthode des coliformes totaux a été choisie de préférence à la méthode des coliformes fécaux parce qu'elle permettait d'augmenter le taux de réanimation bactérienne (6, 7).

L'eau tamponnée servant à laver et à diluer l'échantillon a été remplacée par une solution stérilisée contenant 0.1 pour cent de peptone et 0.7 pour cent de glutamate dissous dans de l'eau bidistillée dont le pH final était ajusté à 6.8 (1). La gélose L.E.S. m-Endo (5) a été préparée à l'aide d'eau stérile désionisée deux fois (conductivité 2.6 micromhos/cm) conformément aux directives fournies par les laboratoires Difco de Détroit. Les membranes filtrantes quadrillées de type HC (47 mm) (Millipore Corporation) ont été déposées sur gélose L.E.S. m-Endo et portées dans une étuve (Thelco, Precision Scientific, Chicago) à 30°C pendant 24 ± 2 heures. On a compté le nombre de colonies de coliformes caractéristiques suivant la description donnée dans les Standard Methods.

La culture de la souche d'E. coli diluée a été effectuée dans des conditions d'incubation uniformes afin de s'assurer que toutes les bactéries soient fondamentalement dans le même état physiologique avant d'être exposées aux radiations ultraviolettes.

La Figure 1 résume la technique employée pour cultiver les bactéries pour le système d'ensemencement intégré au montage de mise à l'épreuve. Tous les milieux utilisés pour cette étude portaient la marque Bacto, de Difco Laboratories de Détroit. L'incubation des milieux s'est faite dans des étuves Thelco (Precision Scientific, Chicago). Toutes les cultures bactériennes employées dans cette étude ont subi trois repiquages quotidiens sur géloses inclinées TGE (Tryptone Glucose Extract) à 35°C avant d'être utilisées.

Paramètres mesurés

Le rendement énergétique de la lumière ultraviolette peut être modifié par des facteurs tels que la température de l'eau, la tension de secteur, le pouvoir absorbant de l'eau et les débits. La puissance d'irradiation de la lampe a été mesurée comme étant une fonction de ces variables afin d'établir des corrélations avec le taux de destruction des bactéries.

Afin d'évaluer le facteur de sécurité et l'effet du modèle sur les débits de l'appareil, chaque purificateur a été mis à l'épreuve à trois débits différents: à la moitié du débit prévu par le constructeur, au débit prévu par le constructeur et à un débit supérieur à celui-ci. Les purificateurs ont également été essayés avec de l'eau à deux températures différentes: chaude (22°C) et froide (environ 4°C).

La tension de secteur était continuellement mesurée pendant les expériences et trois échantillons d'eau ont été prélevés avant l'addition des bactéries, afin de vérifier son pouvoir absorbant à 253.7 nm.

Tout au long des expériences, l'intensité des radiations ultraviolettes produites par les purificateurs était constamment surveillée à un point correspondant approximativement à l'endroit, dans l'appareil, où l'eau se trouvait la plus éloignée de la source émettrice.

On peut voir, au Tableau 1, un résumé du programme de mise à l'épreuve de chacun des purificateurs.

Système de mise à l'épreuve

Les Figures 2 et 3 illustrent le système qui a été utilisé au cours de cette étude. Sur la Figure 2, on peut voir le montage utilisé pour toutes les expériences, à l'exception de celle qui a été effectuée avec de l'eau chaude circulant à un débit inférieur à celui recommandé par le fabricant dans le purificateur C; cette dernière expérience exigeait un système légèrement différent, illustré à la Figure 3. Ces modifications étaient nécessaires pour que le faible débit demeure constant.

Pour les épreuves de rendement effectuées avec de l'eau chaude, l'eau chaude et l'eau froide employées ont été mélangées à l'aide d'un mélangeur sur canalisation, de manière à obtenir l'eau chaude à la température désirée. Pour les expériences faites avec de l'eau froide, on s'est servi de l'eau froide alimentant le laboratoire. La pression et le débit de l'eau étant suffisants pour les épreuves, il n'a pas été nécessaire d'installer une pompe sur canalisation pour assurer un approvisionnement adéquat en eau.

L'ensemble du système de mise à l'épreuve a été conçu pour régler et surveiller de façon adéquate le débit et la température de l'eau. Pour la mise à l'épreuve du purificateur C, avec de l'eau chaude circulant à un débit inférieur à celui recommandé par le fabricant, il a fallu modifier le système d'alimentation en eau (Figure 3). Le mélangeur sur canalisation a été remplacé par un réservoir de 205 L où l'eau était constamment agitée et une pompe d'alimentation. Tous les autres éléments du système étaient indentiques.

Un fois qu'elle avait atteint la température requise, l'eau passait par une soupape de régulation où le débit était réglé, puis à travers un filtre au charbon. Un robinet monté sur canalisation après le filtre, permettait de prélever des échantillons en vue des épreuves bactériologiques avant ensemencement et de la mesure de la capacité d'absorption à l'égard des rayons ultraviolets. Un rotamètre et un thermomètre sur canalisation servaient à mesurer le débit de l'eau à travers le système et sa température à l'entrée. Le rotamètre était pourvu d'une échelle à lecture directe permettant une évaluation instantanée du débit.

La culture d'*E. coli* placée dans un flacon de verre de 1 litre était constamment agitée; elle était déchargée dans le dispositif d'injection par une pompe péristaltique à vitesse variable, ce qui éliminait tout danger de contamination de la culture par la pompe. Le moteur à vitesse variable permettait de modifier le taux d'ensemencement. Le dispositif d'ensemencement, fait d'un tube de verre coudé à 90 degrés, était inséré dans la canalisation. Le coude permettait d'assurer un mélange satisfaisant en augmentant la turbulence dans la canalisation. De plus, en cas de fuite mineure au niveau de l'ouverture, il était impossible qu'une partie de la culture d'ensemencement puisse s'échapper du tuyau.

Au-delà du système d'injection, un mélangeur sur canalisation complétait le mélange de la culture bactérienne avec l'eau. Juste avant le purificateur, un orifice de prélèvement permettait de prendre des échantillons de l'eau contaminée afin de vérifier sa concentration bactérienne.

L'eau contaminée passait ensuite à travers le purificateur à rayons ultraviolets à l'épreuve. Dans le cas des purificateurs A et B, l'intensité de la lumière ultraviolette était surveillée de façon continue tout au long des expériences, à l'aide d'un dispositif de mesure des rayons ultraviolets étalonné avec soin et muni d'une échelle à trois degrés et d'une sonde éloignée. La tension du secteur alimentant le purificateur était, elle aussi, constamment surveillée à l'aide d'un dispositif de mesure "Amprobe" qui fournissait un graphique de la tension à l'aide d'un enregistreur à diagramme rectangulaire. En ce qui concerne les expériences faites sur le purificateur C, l'intensité de la lumière ultraviolette n'a pas été enregistrée pendant l'analyse du pouvoir bactéricide de l'appareil. Une fois ces analyses terminées, le purificateur a été modifié de manière à ce qu'il puisse recevoir un dispositif de mesure de l'intensité des radiations ultraviolettes. Puis on a recommencé les expériences en enregistrant l'intensité du rayonnement UV. Au cours de ces reprises avec le système modifié, la tension de secteur était continuellement enregistrée. L'eau traitée passait dans un bout de canalisation où des échantillons étaient prélevés. Le reste s'écoulait dans l'égout.

Toutes les canalisations et tous les accessoires composant le système étaient faits de chlorure de polyvinyle (PVC) et tous les joints étaient recouverts de ruban de téflon afin d'assurer une étanchéité absolue tout au long des épreuves.

Avant de commencer les expériences avec E. coli, le système fut mis à l'épreuve en utilisant une solution d'orthophosphate à 29 000 mg/L, à la place de la culture bactérienne. Cet essai avait pour but d'étudier l'opération d'ensemencement de l'eau et le régime de mélange dans le système. La concentration du phosphate dans l'eau, après l'addition et le passage dans le système, ne varie que de ± 3 pour cent pendant une période équivalente au temps nécessaire à une expérience. Ces résultats indiquaient qu'une culture bactérienne ajoutée à l'eau y serait adéquatement mélangée avant que l'eau ne pénètre dans le purificateur.

Au cours des expériences, les échantillons étaient recueillis dans des flacons de verre transparent de 250 mL qui contenaient du thiosulfate de sodium en quantité suffisante pour que la concentration finale dans l'échantillon soit de 100 mg/L. L'addition de cette substance avait pour but d'éliminer toute trace de désinfectant qui aurait pu se trouver dans l'eau.

Protocole de mise à l'épreuve

Pour analyser le pouvoir bactéricide de chaque appareil, on a injecté dans l'eau qui y pénétrait, de 1000 à 5000 E. coli par 100 mL, comme il a été dit précédemment (1); ce degré de contamination correspond à la concentration bactérienne maximale à laquelle les techniques classiques de traitement de l'eau peuvent être appliquées dans les stations municipales d'épuration de l'eau (4).

Avant le début des épreuves, on a fait fonctionner les trois purificateurs pendant 100 heures afin que les lampes à vapeur de mercure à basse pression s'usent de telle sorte que l'intensité des radiations ultraviolettes émises soit représentative de celle qui prédomine pendant le fonctionnement prolongé de ces appareils (1).

Toutes les expériences ont été menées suivant le même protocole. Avant chaque expérience, on a laissé l'eau circuler dans l'appareil pendant 30 minutes sans que la lampe à rayons ultraviolets fonctionne, pour vérifier le débit et la température de l'eau, pour s'assurer qu'il n'y avait pas de fuites et pour permettre à l'appareil d'être bien rincé.

Pendant toute la durée de la mise à l'épreuve, un échantillon d'eau était prélevé quotidiennement après son passage dans le filtre à charbon, en vue du dosage du chlore actif total. Dans tous les cas, la concentration du chlore actif total était inférieure au seuil de détection de l'analyse qui était de 0.1 mg/L.

Le Tableau 3 indique le débit réel et les températures auxquelles chaque purificateur a été soumis pendant l'épreuve. Étant donné les limites physiques des appareils, il a été impossible de vérifier l'efficacité de l'appareil B et de l'appareil C à des débits équivalant au double de celui qui était recommandé par le constructeur. Ces purificateurs ont été étudiés sous un débit de 37.9 L/min ou à 125 pour cent du débit moyen recommandé.

On a laissé l'eau circuler dans l'appareil pendant quelques minutes, avant l'expérience, pour permettre à la température d'atteindre un équilibre; le temps zéro correspond au moment où l'on a allumé la lampe. Trois échantillons ont été prélevés (à 0 minute, 7 minutes et 59 minutes) au cours de l'épreuve, en vue de mesurer le pouvoir absorbant de l'eau d'alimentation de l'appareil. Ces échantillons étaient prélevés après le passage de l'eau dans le filtre à charbon, mais avant l'addition de la culture bactérienne.

L'intensité des radiations ultraviolettes était mesurée pendant toute la durée des expériences. Les lectures ont été enregistrées toutes les 20 secondes, pendant les cinq premières minutes, puis toutes les 5 minutes, jusqu'à la fin de l'expérience. Ce protocole a été appliqué dans le cas des purificateurs A et B seulement. Une autre méthode (décrite plus haut) a été utilisée pour l'appareil C.

La tension du secteur alimentant les appareils à l'étude était constamment enregistrée sur un diagramme rectangulaire, pour chaque expérience. Pendant chaque expérience, un échantillon d'eau a été prélevé au début du circuit, après passage dans le filtre à charbon, afin de vérifier s'il y avait déjà des bactéries dans l'eau avant l'addition de la culture. Trois échantillons d'eau étaient également prélevés dans le courant d'entrée, après l'ensemencement, soit: à 0 minute, 7 minutes et 59 minutes, pour chaque épreuve, afin de mesurer la concentration de la culture bactérienne avant que l'eau n'ait été traitée.

Pour chaque ensemble de conditions de mise à l'épreuve, un programme d'échantillonnage s'échelonnant sur une période de 59 minutes a été adopté, afin d'évaluer le pouvoir désinfectant des appareils à l'étude. Des échantillons d'eau traitée étaient prélevés après son passage dans le purificateur, au début de l'épreuve, puis ensuite, toutes les 20 secondes pendant 2 minutes, puis toutes les 5 minutes, jusqu'à la fin de l'épreuve.

Le débit et la température de l'eau étaient constamment surveillés par le technicien chargé de faire fonctionner le système. Le dispositif d'ensemencement des bactéries a également fait l'objet de fréquentes inspections pendant les épreuves.

## RÉSULTATS

### Culture

Lorsque la souche d'E. coli ATCC-25922 était cultivée suivant la méthode illustrée à la Figure 1, les numérations bactériennes effectuées après 18 heures d'incubation étaient de l'ordre de $5 \times 10^8$ bactéries par mL. En se servant de ces résultats, on a dilué la culture d'E. coli dans de l'eau contenant un tampon phosphate (5) pour préparer la solution-mère qui devrait servir à ensemencer l'eau à traiter. Le Tableau 2 montre que le tampon employé n'a pas d'effet inhibiteur sur la culture, pendant une période de 2 heures au cours d'une expérience, et pendant une période de 4 heures, lors d'une autre expérience.

Pour la mise à l'épreuve des purificateurs à UV, l'eau utilisée était de l'eau chlorée provenant de l'aqueduc municipal dont on éliminait le chlore juste avant l'expérience en la faisant passer dans un filtre à charbon actif granulé. Les dosages du chlore résiduel effectués chaque jour étaient inférieurs au seuil de détection qui est de 0.1 mg/L de chlore actif total. On n'a observé aucune baisse de la viabilité des bactéries après avoir dilué la culture d'E. coli au 1/50 dans l'eau déchlorée (Tableau 2).

### Rendement énergétique de la lumière ultraviolette

Pour chaque épreuve, le pouvoir absorbant de l'eau a été mesuré à 253.7 nm au début, après 7 et après 59 minutes. Les valeurs obtenues varient de 0.048 à 0.104 (Tableau 4) la moyenne étant de 0.095. Ces résultats indiquent que la turbidité était plutôt faible et qu'il y avait peu de substances organiques dans l'eau utilisée; on peut donc croire que les conditions expérimentales, en ce qui concerne l'eau, étaient idéales pour la mise à l'épreuve des lampes à UV.

Les résultats des mesures de l'intensité des radiations ultraviolettes à 253.7 nm, au point le plus éloigné de la lampe à UV, sont présentés dans les Figures 4 à 9. L'appareil A a fourni, de façon constante, la plus forte intensité dans l'ultraviolet (environ 10 000 $\mu$watts/cm$^2$) après une période de réchauffement d'environ 1 minute, dans de l'eau à 22°C, ou de 2 minutes, dans de l'eau à 4.4°C. Après cette période initiale de réchauffement, la lampe était passablement stable, pendant toute la durée de l'expérience. On a noté peu de variation du rendement énergétique de la lampe au cours des essais à différentes températures et à différents débits.

Dans le cas de l'appareil B, l'intensité des radiations ultraviolettes était intermédiaire, soit environ 4000 $\mu$watts/cm$^2$ dans l'eau chaude et dans l'eau froide. Une période de réchauffement d'environ 1 minute, dans l'eau à 22°C, et de 2 minutes, à 4.4°C, était nécessaire avant que l'émission d'UV n'atteigne un maximum.

Le purificateur C, selon toute apparence, n'exige aucune période de réchauffement, qu'il fonctionne dans l'eau chaude ou dans l'eau froide. L'émission de lumière était constante en fonction du temps pour une épreuve donnée, mais la puissance d'irradiation était fortement dépendante de la température. Elle variait entre 6000 µwatts/cm$^2$ environ dans une eau à 22°C à 1500 µwatts/cm$^2$ dans une eau à 4.4°C. Il n'y avait aucun lien significatif entre la puissance d'irradiation et le débit, dans cette étude.

Comme le rendement énergétique de la lumière ultraviolette dépend de la tension d'alimentation, la tension de secteur alimentant les appareils était constamment enregistrée. La Figure 10 montre un enregistrement caractéristique de la tension. On n'a relevé aucun changement important au niveau de la tension fournie aux appareils pendant les épreuves.

Pouvoir bactéricide

Six expériences différentes ont été réalisées à l'aide de chacun des appareils, soit avec de l'eau chaude, puis de l'eau froide, en faisant varier le débit, c'est-à-dire à débit faible, au débit moyen prévu par le constructeur et à un débit élevé. La quantité de coliformes totaux dans l'eau à l'entrée, mesurée à 0, à 7 et 59 minutes (Tableaux 5 à 22), est à peu près identique, ce qui permet de prouver la constance du débit et du taux d'ensemencement. Le rendement bactéricide de chaque appareil est décrit ci-après.

a) Purificateur A

Cet appareil a réduit le nombre des E. coli à moins de 2 bactéries par 100 mL dans toutes les conditions (Tableaux 5 à 10) moins de 20 secondes après l'allumage de la lampe à rayons ultraviolets, sauf dans un cas. Une seule fois (Tableau 7), on a dénombré 4 colonies par 100 mL à 40 secondes. Par après, aucun coliforme n'a survécu.

b) Purificateur B

Cet appareil a réduit uniformément le nombre de bactéries ajoutées à l'eau à moins de 1 colonie par 100 mL, quel que soit le débit lors des expériences effectuées avec de l'eau à 4.4°C, après une période de réchauffement de la lampe de 20 secondes (Tableaux 11 à 13).

Toutefois, au cours des épreuves effectuées avec de l'eau chaude, on a obtenu, en de rares occasions, quelques échantillons positifs. En effet, trois numérations faibles ont été enregistrées pour un débit d'eau élevé (125 pour cent du débit prévu par le constructeur) (Tableau 14) et, dans un seul cas, on a dénombré 6 colonies par 100 mL lors d'une expérience avec un débit moyen prévu par le constructeur (Tableau 15). Cet appareil, après une période de réchauffement de 20 secondes, a ramené le nombre de bactéries dans l'eau épurée à moins de 1 bactérie par 100 mL, dans le cas d'un débit faible, à 22°C (Tableau 16).

c) Purificateur C

Cet appareil a réduit le nombre de bactéries à moins de 2 colonies par 100 mL, lorsque l'eau traitée était chaude, quel que soit le débit (Tableaux 20 à 22), sauf dans un seul échantillon, lors d'une épreuve effectuée au débit prévu par le constructeur (Tableau 21); on a alors dénombré 58 colonies/100 mL. Il a fallu une période initiale de 2 minutes (Tableau 22) pour atteindre ce taux de réduction bactérienne.

De même, cet appareil était capable de produire une eau exempte de coliformes à 4.1°C sous un faible débit (Tableau 19). Cependant, il ne parvenait pas à réduire suffisamment le taux des bactéries lorsque le débit de l'eau traitée à 4.1°C était celui prévu par le constructeur ou supérieur à celui-ci (Tableau 17 et 18). Les expériences révèlent qu'il y avait une moyenne de 16 colonies/100 mL (soit, de 6 à 36 colonies) au débit moyen prévu par le constructeur, et une moyenne de 76 colonies/100 mL, au débit plus élevé (200 pour cent du débit moyen prévu par le constructeur).

## DISCUSSION

Même s'il est clairement établi que les radiations ultraviolettes peuvent inactiver des bactéries (3, 8 à 10), des virus (2, 11) et des protozoaires (12) lorsque la dose administrée est suffisante, il est évident, d'après les résultats présentés dans cette étude, qu'il faut soumettre chaque modèle d'appareil à des épreuves appropriées avant de pouvoir affirmer qu'un appareil donné pourra produire une eau pure, du point de vue microbiologique, dans diverses conditions d'utilisation.

Deux des appareils qui ont été mis à l'épreuve dans le cadre de cette étude, se sont révélés capables de produire une eau potable de bonne qualité à partir d'une eau déchlorée, artificiellement contaminée, lorsqu'on les faisait fonctionner au débit moyen prévu par le constructeur ou à un débit inférieur, après une période de réchauffement de 2 minutes. Le rendement de l'appareil C, cependant, ne s'est pas révélé satisfaisant, même au débit moyen prévu par le constructeur, dans le cas d'une eau traitée à basse température, situation prédominante pendant les saisons froides dans de nombreuses régions, au Canada. Parce que la lampe n'est pas entourée d'un manchon de quartz, comme les autres lampes qui ont été mises à l'épreuve, la température de l'ampoule dépend, dans une grande mesure, de la température de l'eau; le rendement de la lampe diminue de façon radicale dans l'eau froide. Cortelyou et ses collaborateurs (8) ont démontré que le rendement de la lampe diminuait d'environ 80 pour cent lorsque l'eau était refroidie de 18.5°C à 4°C. Dans l'étude qui fait l'objet du présent rapport, nous avons observé une diminution de la puissance lumineuse d'environ 75 pour cent lorsque la température de l'eau passait de 22°C à 4.1°C dans l'appareil C dans lequel l'eau est en contact direct avec la lampe. Dans le cas de cet appareil, la dose de radiations ultraviolettes dans l'eau froide était de 13 500, 6750, et 3375 $\mu$watts.s/cm$^2$ pour des débits faible, moyen et élevé, respectivement. L'effet de diverses doses de radiations ultraviolettes sur la récupération des bactéries est illustré à la Figure 11. Lorsque le débit était faible, tous les E. coli étaient inactivés après 2 minutes de réchauffement. Lorsque le débit était plus élevé (soit lorsque les doses d'UV diminuaient) la survie des bactéries augmentait. Lorsqu'on établit une courbe de la dose de radiations ultraviolettes en fonction du pourcentage de bactéries tuées (Figure 12), on voit qu'il y a destruction totale des E. coli (<1 colonie décelable/100 mL) lorsque la dose d'UV est de 7080 $\mu$watts.s/cm$^2$. Ce résultat est comparable aux doses de radiations ultraviolettes publiées qui sont de l'ordre de 6470 à 6875 $\mu$watts.s/cm$^2$ (2) pour obtenir la destruction totale des cellules d'E. coli. On a utilisé les bactéries de type E. coli comme organisme indicateur parce qu'elles sont largement employées comme bactérie indicatrice de contamination fécale et parce qu'elles étaient plus résistantes aux radiations ultraviolettes que la plupart des bactéries et des virus pathogènes transportés par l'eau et utilisés dans les épreuves (2, 12), bien qu'elles soient probablement moins résistantes que certaines spores bactériennes et que certains kystes de protozoaires qui doivent être éliminés à l'aide de filtres

spéciaux (12). On a choisi une teneur de 1000 à 5000 organismes/100 mL (1) parce qu'elle correspond à la teneur en coliformes totaux la plus élevée recommandée pour le traitement classique complet des approvisionnements en eau des villes.

Deux des appareils (A et B) pouvaient être équipés d'un détecteur de radiations ultraviolettes installé dans un plan équivalant au point le plus éloigné de la source de rayons ultraviolets dans l'appareil. A l'aide du dispositif de mesure approprié, ce système a permis d'enregistrer de façon continue l'intensité des radiations ultraviolettes qui peut varier en fonction de l'usure de la lampe, des changements de tension, de la turbidité ou de la couleur de l'eau, des dépôts de fer à l'intérieur des gaines ou d'autres facteurs. Grâce à une mesure précise des radiations UV émises à 253.7 nm et en choisissant une dose donnée de radiations ultraviolettes, il est possible de déterminer le temps de séjour (et par conséquent le débit) qui convient à un appareil donné. Une dose de radiations ultraviolettes de 16 000 $\mu$watts.s/cm$^2$ a été recommandée par le National Health, Education and Welfare Department des États-Unis (mentionné en 1) comme dose minimale acceptable, calculée au point le plus éloigné de la source lumineuse. Même si les appareils sont construits et s'ils fonctionnent selon ces spécifications, il est clair, d'après ces études, qu'il faut procéder à des expériences pour s'assurer de leur efficacité dans la pratique. De plus, puisqu'on ne peut que rarement vérifier un appareil de mesure pour s'assurer que la puissance d'irradiation ultraviolette est suffisante, on considère nécessaire de prévoir l'installation d'un avertisseur sonore ou d'un dispositif à sécurité intégrale. Il faudrait se rappeler toutefois, que si on utilise un solénoïde normalement sous tension, celui-ci risque de rompre le circuit lorsque le courant est coupé en cas d'urgence, comme lors d'un incendie, lorsqu'on a un besoin pressant d'eau. Par ailleurs, si le solénoïde n'est pas normalement sous tension, on ne peut pas savoir si le système demeure fonctionnel. De toute façon, il est possible de mettre au point un dispositif de sécurité qui minimisera la possibilité de consommer, sans le savoir, une eau insuffisamment traitée et qui ne causera aucun autre problème important au propriétaire de maison.

A l'heure actuelle, des études se poursuivent afin de mettre au point des méthodes de mise à l'épreuve pour évaluer l'efficacité de dispositifs à sécurité intégrale particuliers sur les appareils à rayons ultraviolets pour le traitement de l'eau au point d'utilisation.

## RECOMMANDATIONS

1. Tous les appareils de traitement de l'eau par les radiations ultraviolettes devraient être munis d'un détecteur de lumière calibré avec précision, qui réagit à une longueur d'onde de 253.7 nm, et couplés à un dispositif à sécurité intégrale, qui puisse empêcher l'écoulement de l'eau ou qui déclenche un avertisseur sonore lorsque la dose émise est inférieure à 16 000 $\mu$watts.s/cm$^2$. Il faudrait avoir recours à un réducteur de débit pour s'assurer que le débit de fonctionnement prévue n'est pas dépassé.

2. Tous les appareils de traitement de l'eau par les radiations ultraviolettes utilisés pour l'épuration d'eau contaminée devraient être munis d'un filtre capable de retenir les kystes dont le diamètre est supérieur à 5 $\mu$m.

3. Une "approche par systèmes" devrait être utilisée en ce qui concerne l'installation d'appareils pour le traitement de l'eau; au moment de choisir les appareils auxiliaires qui seront utilisés, il faut tenir compte de facteurs tels que: la teneur de l'eau en fer, la turbidité et la couleur de l'eau.

4. Des appareils de traitement de l'eau par les radiations ultraviolettes ne devraient pas être utilisés avec de l'eau brute, polluée au point qu'il soit nécessaire d'employer des moyens extraordinaires pour la purifier. La limite supérieure proposée, en ce qui concerne le nombre de bactéries admissible pour le traitement par les radiations ultraviolettes, est de 1000 coliformes totaux/100 mL ou de 100 coliformes fécaux/100 mL. On devrait se renseigner auprès des services d'hygiène concernés pour savoir s'il convient d'utiliser des systèmes à rayonnement ultraviolet avant d'entreprendre le traitement d'une source d'eau potable.

5. Tous les modèles d'appareils à radiations ultraviolettes vendus au Canada pour le traitement de l'eau contaminée par des bactéries, devraient être soumis à des épreuves semblables à celles qui sont décrites dans le présent rapport, pour s'assurer qu'ils purifient l'eau de façon satisfaisante. Il faudrait augmenter la turbidité et la couleur de l'eau au point que le dispositif à sécurité intégrale entre en fonctionnement, et à ce point, le système doit encore pouvoir effectuer une désinfection efficace.

6. Les rayons ultraviolets n'ont pas de pouvoir de désinfection résiduel, il est donc possible que l'eau soit contaminée à nouveau ou qu'il y ait une nouvelle croissance de bactéries. Lorsqu'on prend de l'eau après que l'appareil a été fermé pendant un certain temps, comme après une période de stagnation d'une nuit, il faut la laisser couler assez longtemps pour être assuré d'obtenir de l'eau fraîchement traitée.

## BIBLIOGRAPHIE

1. Direction de l'hygiène du milieu. 1977. Méthodes d'analyse et d'étude des purificateurs d'eau à usage domestique. Santé et Bien-être social Canada, publication 77-EHD-8, Ottawa, Canada. 139 p.

2. Huff, C.B., H.F. Smith, W.D. Boring, N.A. Clarke. 1965. Study of ultraviolet disinfection of water and factors in treatment efficiency. Public Health Reports 80, 695-705.

3. Luckliesh, M. et L.L. Holiday, 1944. Disinfecting water by means of germicidal lamps, Gen. Electric Rev. 47, 45.

4. Santé et Bien-être social Canada. 1969. Normes et objectifs pour l'eau potable au Canada. 1968. Imprimeur de la Reine, Ottawa, Canada.

5. American Public Health Association - 1976. Standard methods for the examination of water and wastewater. 14$^{e}$ édition. American Public Health Association, Inc., New York.

6. Rose, R.E., E.E. Geldreich et W. Litsky. 1975. Improved membrane filter method for fecal coliform analysis. Appl. Microbiol. 29, 532-536.

7. Stuart, D.G., G.A. McFeters et J.E. Schillinger. 1977. Membrane filter technique for the quantification of stressed fecal coliforms in the aquatic environment. Appl. Environ. Microbiol. 34, 42-46.

8. Cortelyou, J.R., M.A. McWhinnie, M.S. Riddiford et J.E. Semrad. 1954. The effects of ultraviolet irradiation on large populations of certain water-borne bacteria in motion: II. Some physical factors affecting the effectiveness of germicidal ultraviolet irradiation. Appl. Microbiol. 2, 269-273.

9. Griego, V.M. et K.D. Spence. 1978. Inactivation of Bacillus thuringiensis spores by ultraviolet and visible light. Appl. Environ. Microbiol. 35, 906-910.

10. Joshi, J.G. et P.A. Swenson. 1977. Continuous-flow system for large-scale ultraviolet irradiation of bacterial cells. Appl. Environ. Microbiol. 33, 915-917.

11. Hill, W.F., F.E. Hamblet et W.H. Benton. 1969. Inactivation of Poliovirus Type 1 by the Kelly-Purdy Ultraviolet Seawater Treatment Unit: Appl. Microbiol. 17, 1-6.

12. Yip, R.W. et D.E. Konasewich. 1972. Ultraviolet sterilization of water - its potential and limitations. Water and Pollution Control 110, 14-18.

**TABLEAU 1**

Programme de mise à l'épreuve pour chaque appareil

| Débit | Température de l'eau d'arrivée | Temps d'échantillonnage | | | | | | | | | | | | | | | | | Type d'échantillon | Nombre d'échantillons |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Secondes | | | | | | | Minutes | | | | | | | | | | | |
| | | 0 | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 | 120 | 7 | 12 | 19 | 24 | 29 | 34 | 39 | 44 | 49 | 54 | 59 | |
| Moitié du débit recommandé | Chaude | 1<br>1<br>1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1<br>1<br>1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1<br>1<br>1 | E. coli<br>Eau d'alimentation<br>Pouvoir absorbant | 18<br>3<br>3 |
| | Froide | 1<br>1<br>1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1<br>1<br>1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1<br>1<br>1 | E. coli<br>Eau d'alimentation<br>Pouvoir absorbant | 18<br>3<br>3 |
| Débit recommandé | Chaude | 1<br>1<br>1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1<br>1<br>1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1<br>1<br>1 | E. coli<br>Eau d'alimentation<br>Pouvoir absorbant | 18<br>3<br>3 |
| | Froide | 1<br>1<br>1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1<br>1<br>1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1<br>1<br>1 | E. coli<br>Eau d'alimentation<br>Pouvoir absorbant | 18<br>3<br>3 |
| Débit supérieur au débit recommandé | Chaude | 1<br>1<br>1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1<br>1<br>1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1<br>1<br>1 | E. coli<br>Eau d'alimentation<br>Pouvoir absorbant | 18<br>3<br>3 |
| | Froide | 1<br>1<br>1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1<br>1<br>1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1<br>1<br>1 | E. coli<br>Eau d'alimentation<br>Pouvoir absorbant | 18<br>3<br>3 |
| TOTAL PAR APPAREIL . . . . . | | | | | | | | | | | | | | | | | | | E. coli<br>Eau d'alimentation<br>Pouvoir absorbant | 108<br>18<br>18 |

## TABLEAU 2

Coliformes totaux dans des échantillons d'E. coli en suspension dans un tampon phosphate et dans de l'eau du robinet filtrée avec un filtre au charbon[(a)]

| | Temps | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 0 heure | 1 heure | 2 heures | 4 heures |
| Expérience I | | | | |
| Tampon phosphate | $9 \times 10^6$ | - | $1.5 \times 10^7$ | - |
| Expérience II | | | | |
| Tampon phosphate | $1.4 \times 10^7$ | $1.2 \times 10^7$ | - | $2.2 \times 10^7$ |
| Eau du robinet filtrée avec un filtre au charbon | $1.4 \times 10^7$ | - | - | $2.4 \times 10^7$ |

a. Un mL d'une culture de 18 heures d'E. coli, en bouillon nutritif a été ajouté à 50 mL de diluant. Les suspensions ont été incubées à la température ambiante (de 21 à 23°C) et agitées à l'aide d'une barre aimantée, pendant toute la période d'incubation.

**TABLEAU 3**

Débits et températures lors des épreuves

| Purificateur | Température de l'eau (°C) | | Débits (L/min) | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Chaude | Froide | Moitié du débit recommandé | Débit recommandé | Débit supérieur au débit recommandé |
| A | 22 | 4.4 | 15.1 | 30.3 | 37.9 |
| B | 22 | 4.4 | 15.1 | 30.3 | 37.9 |
| C | 22 | 4.1 | 3.8 | 7.6 | 15.1 |

## TABLEAU 4

Absorption des radiations ultraviolettes par l'eau d'alimentation des appareils

| Purificateur | Temp. °C | Débit L/min | Temps min | A 253.7 nm | Appareil | Temp. °C | Débit L/min | Temps min | A 253.7 nm |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Blanc | | | | 0.000 | | | | | |
| A | 4.4 | 37.9 | 0 | 0.088 | B | 22 | 37.9 | 0 | 0.081 |
| | | | 7 | 0.080 | | | | 7 | 0.084 |
| | | | 59 | 0.081 | | | | 59 | 0.085 |
| | | 30.3 | 0 | 0.071 | | | 30.3 | 0 | 0.082 |
| | | | 7 | 0.056 | | | | 7 | 0.081 |
| | | | 59 | 0.061 | | | | 59 | 0.083 |
| | | 15.1 | 0 | 0.085 | | | 15.1 | 0 | 0.063 |
| | | | 7 | 0.065 | | | | 7 | 0.058 |
| | | | 59 | 0.076 | | | | 59 | 0.066 |
| | 22 | 37.9 | 0 | 0.075 | C | 4.1 | 15.1 | 0 | 0.067 |
| | | | 7 | 0.073 | | | | 7 | 0.075 |
| | | | 59 | 0.078 | | | | 59 | 0.075 |
| | | 30.3 | 0 | 0.098 | | | 7.6 | 0 | 0.075 |
| | | | 7 | 0.076 | | | | 7 | 0.058 |
| | | | 59 | 0.078 | | | | 59 | 0.064 |
| | | 15.1 | 0 | 0.054 | | | 3.8 | 0 | 0.047 |
| | | | 7 | 0.064 | | | | 7 | 0.048 |
| | | | 59 | 0.060 | | | | 59 | 0.050 |
| B | 4.4 | 37.9 | 0 | 0.088 | | 22 | 15.1 | 0 | 0.104 |
| | | | 7 | 0.083 | | | | 7 | 0.092 |
| | | | 59 | 0.082 | | | | 59 | 0.051 |
| | | 30.3 | 0 | 0.084 | | | 7.6 | 0 | 0.073 |
| | | | 7 | 0.084 | | | | 7 | 0.067 |
| | | | 59 | 0.080 | | | | 59 | 0.077 |
| | | 15.1 | 0 | 0.081 | | | 3.8 | 0 | 0.104 |
| | | | 7 | 0.067 | | | | 7 | 0.072 |
| | | | 59 | 0.068 | | | | 59 | 0.051 |

## TABLEAU 5

Purificateur A, désinfection de l'eau additionnée de bactéries - eau froide et débit élevé

Température de l'eau: 4.4°C

Débit: 37.9 L/min

Bactéries avant ensemencement (coliformes totaux): <2 par 100 mL

Concentration de la culture bactérienne d'ensemencement avant son passage dans la pompe péristaltique (coliformes totaux): $9.0 \times 10^7$ par 100 mL

| Temps écoulé | Coliformes totaux par 100 mL | |
|---|---|---|
| | Entrée | Sortie |
| 0 seconde | 5600 | 4600 |
| 20 | | < 2 |
| 40 | | < 2 |
| 60 | | < 2 |
| 80 | | < 2 |
| 100 | | < 2 |
| 120 | | < 2 |
| 7 minutes | 4600 | < 2 |
| 12 | | < 2 |
| 19 | | < 2 |
| 24 | | < 2 |
| 29 | | < 2 |
| 34 | | < 2 |
| 39 | | < 2 |
| 44 | | < 2 |
| 49 | | < 2 |
| 54 | | < 2 |
| 59 | 5300 | < 2 |

**TABLEAU 6**

Purificateur A, désinfection de l'eau additionnée de bactéries - eau froide, débit moyen recommandé par le constructeur

Température de l'eau: 4.4°C

Débit: 30.3 L/min

Bactéries avant ensemencement (coliformes totaux): <2 par 100 mL

Concentration de la culture bactérienne d'ensemencement avant son passage dans la pompe péristaltique (coliformes totaux): $12 \times 10^7$ par 100 mL

| Temps écoulé | Coliformes totaux par 100 mL | |
|---|---|---|
| | Entrée | Sortie |
| 0 seconde | 300 | 1100 |
| 20 | | < 2 |
| 40 | | < 2 |
| 60 | | < 2 |
| 80 | | < 2 |
| 100 | | < 2 |
| 120 | | < 2 |
| 7 minutes | 600 | < 2 |
| 12 | | < 2 |
| 19 | | < 2 |
| 24 | | < 2 |
| 29 | | < 2 |
| 34 | | < 2 |
| 39 | | < 2 |
| 44 | | < 2 |
| 49 | | < 2 |
| 54 | | < 2 |
| 59 | 1300 | < 2 |

## TABLEAU 7

Purificateur A, désinfection de l'eau additionnée de bactéries - eau froide, débit faible

Température de l'eau: 4.4°C

Débit: 15.1 L/min

Bactéries avant ensemencement (coliformes totaux): <2 par 100 mL

Concentration de la culture bactérienne d'ensemencement avant son passage dans la pompe péristaltique (coliformes totaux): $2.8 \times 10^7$ par 100 mL

| Temps écoulé | Coliformes totaux par 100 mL | |
|---|---|---|
| | Entrée | Sortie |
| 0 seconde | 4100 | 4500 |
| 20 | | < 2 |
| 40 | | < 4 |
| 60 | | < 2 |
| 80 | | < 2 |
| 100 | | < 2 |
| 120 | | < 2 |
| 7 minutes | 4600 | < 2 |
| 12 | | < 2 |
| 19 | | < 2 |
| 24 | | < 2 |
| 29 | | < 2 |
| 34 | | < 2 |
| 39 | | < 2 |
| 44 | | < 2 |
| 49 | | < 2 |
| 54 | | < 2 |
| 59 | 3800 | < 2 |

**TABLEAU 8**

Purificateur A, désinfection de l'eau additionnée de bactéries - eau chaude, débit élevé

Température de l'eau: 22°C

Débit: 37.9 L/min

Bactéries avant ensemencement (coliformes totaux): <2 par 100 mL

Concentration de la culture bactérienne d'ensemencement avant son passage dans la pompe péristaltique (coliformes totaux): $1.1 \times 10^8$ par 100 mL

| Temps écoulé | Coliformes totaux par 100 mL | |
|---|---|---|
| | Entrée | Sortie |
| 0 seconde | 5600 | 4400 |
| 20 | | < 2 |
| 40 | | < 2 |
| 60 | | < 2 |
| 80 | | < 2 |
| 100 | | < 2 |
| 120 | | < 2 |
| 7' minutes | 5200 | < 2 |
| 12 | | < 2 |
| 19 | | < 2 |
| 24 | | < 2 |
| 29 | | < 2 |
| 34 | | < 2 |
| 39 | | < 2 |
| 44 | | < 2 |
| 49 | | < 2 |
| 54 | | < 2 |
| 59 | 4100 | < 2 |

## TABLEAU 9

Purificateur A, désinfection de l'eau additionnée de bactéries - eau chaude, débit moyen prévu par le constructeur

Température de l'eau: 22°C

Débit: 30.3 L/min

Bactéries avant ensemencement (coliformes totaux): <2 par 100 mL

Concentration de la culture bactérienne d'ensemencement avant son passage dans la pompe péristaltique (coliformes totaux): $5.3 \times 10^7$ par 100 mL

| Temps écoulé | Coliformes totaux par 100 mL | |
|---|---|---|
| | Entrée | Sortie |
| 0 seconde | 2100 | 3600 |
| 20 | | < 2 |
| 40 | | < 2 |
| 60 | | < 2 |
| 80 | | < 2 |
| 100 | | < 2 |
| 120 | | < 2 |
| 7 minutes | 4300 | < 2 |
| 12 | | < 2 |
| 19 | | < 2 |
| 24 | | < 2 |
| 29 | | < 2 |
| 34 | | < 2 |
| 39 | | < 2 |
| 44 | | < 2 |
| 49 | | < 2 |
| 54 | | < 2 |
| 59 | 3700 | < 2 |

**TABLEAU 10**

Purificateur A, désinfection de l'eau additionnée de bactéries - eau chaude, débit faible

Température de l'eau: 22°C

Débit: 15.1 L/min

Bactéries avant ensemencement (coliformes totaux): <2 par 100 mL

Concentration de la culture bactérienne d'ensemencement avant son passage dans la pompe péristaltique (coliformes totaux): $1.6 \times 10^7$ par 100 mL

| Temps écoulé | Coliformes totaux par 100 mL | |
|---|---|---|
| | Entrée | Sortie |
| 0 seconde | 5300 | 3600 |
| 20 | | < 2 |
| 40 | | < 2 |
| 60 | | < 2 |
| 80 | | < 2 |
| 100 | | < 2 |
| 120 | | < 2 |
| 7 minutes | 5600 | < 2 |
| 12 | | < 2 |
| 19 | | < 2 |
| 24 | | < 2 |
| 29 | | < 2 |
| 34 | | < 2 |
| 39 | | < 2 |
| 44 | | < 2 |
| 49 | | < 2 |
| 54 | | < 2 |
| 59 | 6700 | < 2 |

## TABLEAU 11

Purificateur B, désinfection de l'eau additionnée de bactéries - eau froide, débit élevé

Température de l'eau: 4.4°C

Débit: 37.9 L/min

Bactéries avant ensemencement (coliformes totaux): <2 par 100 mL

Concentration de la culture bactérienne d'ensemencement avant son passage dans la pompe péristaltique (coliformes totaux): $1.1 \times 10^8$ par 100 mL

| Temps écoulé | Coliformes totaux par 100 mL | |
|---|---|---|
| | Entrée | Sortie |
| 0 seconde | 8500 | 3100 |
| 20 | | < 2 |
| 40 | | < 2 |
| 60 | | < 2 |
| 80 | | < 2 |
| 100 | | < 2 |
| 120 | | < 2 |
| 7 minutes | 3600 | < 2 |
| 12 | | < 2 |
| 19 | | < 2 |
| 24 | | < 2 |
| 29 | | < 2 |
| 34 | | < 2 |
| 39 | | < 2 |
| 44 | | < 2 |
| 49 | | < 2 |
| 54 | | < 2 |
| 59 | 20 000 | < 2 |

## TABLEAU 12

Purificateur B, désinfection de l'eau additionnée de bactéries - eau froide, débit moyen prévu par le constructeur

Température de l'eau: 4.4°C

Débit: 30.3 L/min

Bactéries avant ensemencement (coliformes totaux): <2 par 100 mL

Concentration de la culture bactérienne d'ensemencement avant son passage dans la pompe péristaltique (coliformes totaux): $4.9 \times 10^7$ par 100 mL

| Temps écoulé | Coliformes totaux par 100 mL | |
|---|---|---|
| | Entrée | Sortie |
| 0 seconde | 4900 | 3500 |
| 20 | | < 2 |
| 40 | | < 2 |
| 60 | | < 2 |
| 80 | | < 2 |
| 100 | | < 2 |
| 120 | | < 2 |
| 7 minutes | 4500 | < 2 |
| 12 | | < 2 |
| 19 | | < 2 |
| 24 | | < 2 |
| 29 | | < 2 |
| 34 | | < 2 |
| 39 | | < 2 |
| 44 | | < 2 |
| 49 | | < 2 |
| 54 | | < 2 |
| 59 | 3700 | < 2 |

**TABLEAU 13**

Purificateur B, désinfection de l'eau additionnée de bactéries - eau froide, débit faible

Température de l'eau: 4.4°C

Débit: 15.1 L/min

Bactéries avant ensemencement (coliformes totaux): <2 par 100 mL

Concentration de la culture bactérienne d'ensemencement avant son passage dans la pompe péristaltique (coliformes totaux): $2.6 \times 10^7$ par 100 mL

| Temps écoulé | Coliformes totaux par 100 mL | |
|---|---|---|
| | Entrée | Sortie |
| 0 seconde | 4300 | 4400 |
| 20 | | < 2 |
| 40 | | < 2 |
| 60 | | < 2 |
| 80 | | < 2 |
| 100 | | < 2 |
| 120 | | < 2 |
| 7 minutes | 3000 | < 2 |
| 12 | | < 2 |
| 19 | | < 2 |
| 24 | | < 2 |
| 29 | | < 2 |
| 34 | | < 2 |
| 39 | | < 2 |
| 44 | | < 2 |
| 49 | | < 2 |
| 54 | | < 2 |
| 59 | 4600 | < 2 |

## TABLEAU 14

Purificateur B, désinfection de l'eau additionnée de bactéries - eau chaude, débit élevé

Température de l'eau: 22°C

Débit: 37.9 L/min

Bactéries avant ensemencement (coliformes totaux): <1 par 100 mL

Concentration de la culture bactérienne d'ensemencement avant son passage dans la pompe péristaltique (coliformes totaux): $1.1 \times 10^8$ par 100 mL

| Temps écoulé | Coliformes totaux par 100 mL | |
|---|---|---|
| | Entrée | Sortie |
| 0 seconde | 6400 | 6700 |
| 20 | | <1 |
| 40 | | <1 |
| 60 | | 1 |
| 80 | | <1 |
| 100 | | <1 |
| 120 | | <1 |
| 7 minutes | 8400 | <1 |
| 12 | | <1 |
| 19 | | <1 |
| 24 | | <1 |
| 29 | | 25 |
| 34 | | 3 |
| 39 | | <1 |
| 44 | | <1 |
| 49 | | <1 |
| 54 | | <1 |
| 59 | 5000 | <1 |

## TABLEAU 15

Purificateur B, désinfection de l'eau additionnée de bactéries - eau froide, débit moyen prévu par le constructeur

Température de l'eau: 22°C

Débit: 30.3 L/min

Bactéries avant ensemencement (coliformes totaux): <1 par 100 mL

Concentration de la culture bactérienne d'ensemencement avant son passage dans la pompe péristaltique (coliformes totaux): $6.7 \times 10^7$ par 100 mL

| Temps écoulé | Coliformes totaux par 100 mL | |
|---|---|---|
| | Entrée | Sortie |
| 0 seconde | 3400 | 4400 |
| 20 | | < 1 |
| 40 | | < 1 |
| 60 | | < 1 |
| 80 | | < 1 |
| 100 | | < 1 |
| 120 | | < 1 |
| 7 minutes | 3500 | < 1 |
| 12 | | < 1 |
| 19 | | < 1 |
| 24 | | < 1 |
| 29 | | 6 |
| 34 | | < 1 |
| 39 | | < 1 |
| 44 | | < 1 |
| 49 | | < 1 |
| 54 | | < 1 |
| 59 | 3300 | < 1 |

## TABLEAU 16

Purificateur B, désinfection de l'eau additionnée de bactéries - eau chaude, débit faible

Température de l'eau: 22°C

Débit: 15.1 L/min

Bactéries avant ensemencement (coliformes totaux): <1 par 100 mL

Concentration de la culture bactérienne d'ensemencement avant son passage dans la pompe péristaltique (coliformes totaux): $6.7 \times 10^7$ par 100 mL

| Temps écoulé | Coliformes totaux par 100 mL | |
|---|---|---|
| | Entrée | Sortie |
| 0 seconde | 10 000 | 8900 |
| 20 | | < 1 |
| 40 | | < 1 |
| 60 | | < 1 |
| 80 | | < 1 |
| 100 | | < 1 |
| 120 | | < 1 |
| 7 minutes | 7600 | < 1 |
| 12 | | < 1 |
| 19 | | < 1 |
| 24 | | < 1 |
| 29 | | < 1 |
| 34 | | < 1 |
| 39 | | < 1 |
| 44 | | < 1 |
| 49 | | < 1 |
| 54 | | < 1 |
| 59 | 10 600 | < 1 |

## TABLEAU 17

Purificateur C, désinfection de l'eau additionnée de bactéries - eau froide, débit élevé

Température de l'eau: 4.1°C

Débit: 15.1 L/min

Bactéries avant ensemencement (coliformes totaux): <1 par 100 mL

Concentration de la culture bactérienne d'ensemencement avant son passage dans la pompe péristaltique (coliformes totaux): $6.0 \times 10^6$ par 100 mL

| Temps écoulé | Coliformes totaux par 100 mL | |
|---|---|---|
| | Entrée | Sortie |
| 0 seconde | 1400 | 2200 |
| 20 | | 58 |
| 40 | | 61 |
| 60 | | 96 |
| 80 | | 65 |
| 100 | | 73 |
| 120 | | 74 |
| 7 minutes | 2300 | 65 |
| 12 | | 64 |
| 19 | | 85 |
| 24 | | 82 |
| 29 | | 96 |
| 34 | | 67 |
| 39 | | 83 |
| 44 | | 97 |
| 49 | | 78 |
| 54 | | 74 |
| 59 | 1500 | 81 |

**TABLEAU 18**

Purificateur C, désinfection de l'eau additionnée de bactéries - eau froide, débit prévu par le constructeur

Température de l'eau: 4.1°C

Débit: 7.6 L/min

Bactéries avant ensemencement (coliformes totaux): <1 par 100 mL

Concentration de la culture bactérienne d'ensemencement avant son passage dans la pompe péristaltique (coliformes totaux): $1.3 \times 10^7$ par 100 mL

| Temps écoulé | Coliformes totaux par 100 mL | |
|---|---|---|
| | Entrée | Sortie |
| 0 seconde | 5500 | 5300 |
| 20 | | 36 |
| 40 | | 12 |
| 60 | | 6 |
| 80 | | 11 |
| 100 | | 11 |
| 120 | | 16 |
| 7 minutes | 5300 | 9 |
| 12 | | 21 |
| 19 | | 8 |
| 24 | | 25 |
| 29 | | 18 |
| 34 | | 10 |
| 39 | | 10 |
| 44 | | 25 |
| 49 | | 26 |
| 54 | | 17 |
| 59 | 4700 | 8 |

**TABLEAU 19**

Purificateur C, désinfection de l'eau additionnée de bactéries - eau froide, débit faible

Température de l'eau: 4.1°C

Débit: 3.8 L/min

Bactéries avant ensemencement (coliformes totaux): <2 par 100 mL

Concentration de la culture bactérienne d'ensemencement avant son passage dans la pompe péristaltique (coliformes totaux): $2.3 \times 10^7$ par 100 mL

| Temps écoulé | Coliformes totaux par 100 mL | |
|---|---|---|
| | Entrée | Sortie |
| 0 seconde | 6900 | 5500 |
| 20 | | 70 |
| 40 | | 22 |
| 60 | | 6 |
| 80 | | 6 |
| 100 | | 2 |
| 120 | | < 2 |
| 7 minutes | 6000 | < 2 |
| 12 | | < 2 |
| 19 | | < 2 |
| 24 | | < 2 |
| 29 | | < 2 |
| 34 | | < 2 |
| 39 | | < 2 |
| 44 | | < 2 |
| 49 | | < 2 |
| 54 | | < 2 |
| 59 | 5800 | < 2 |

**TABLEAU 20**

Purificateur C, désinfection de l'eau additionnée de bactéries - eau chaude, débit élevé

Température de l'eau: 22°C

Débit: 15.1 L/min

Bactéries avant ensemencement (coliformes totaux): <1 par 100 mL

Concentration de la culture bactérienne d'ensemencement avant son passage dans la pompe péristaltique (coliformes totaux): $5 \times 10^6$ par 100 mL

| Temps écoulé | Coliformes totaux par 100 mL | |
|---|---|---|
| | Entrée | Sortie |
| 0 seconde | 2100 | 3000 |
| 20 | | <1 |
| 40 | | <1 |
| 60 | | <1 |
| 80 | | <1 |
| 100 | | <1 |
| 120 | | <1 |
| 7 minutes | 2500 | <1 |
| 12 | | <1 |
| 19 | | <1 |
| 24 | | <1 |
| 29 | | <1 |
| 34 | | <1 |
| 39 | | <1 |
| 44 | | <1 |
| 49 | | <1 |
| 54 | | <1 |
| 59 | 1600 | <1 |

## TABLEAU 21

Purificateur C, désinfection de l'eau additionnée de bactéries - eau chaude, débit moyen prévu par le constructeur

Température de l'eau: 22°C

Débit: 7.6 L/min

Bactéries avant ensemencement (coliformes totaux): <2 par 100 mL

Concentration de la culture bactérienne d'ensemencement avant son passage dans la pompe péristaltique (coliformes totaux): $9.0 \times 10^6$ par 100 mL

| Temps écoulé | Coliformes totaux par 100 mL | |
|---|---|---|
| | Entrée | Sortie |
| 0 seconde | 3500 | 5900 |
| 20 | | 4 |
| 40 | | < 2 |
| 60 | | < 2 |
| 80 | | < 2 |
| 100 | | < 2 |
| 120 | | < 2 |
| 7 minutes | 3300 | < 2 |
| 12 | | < 2 |
| 19 | | < 2 |
| 24 | | < 2 |
| 29 | | < 2 |
| 34 | | 58 |
| 39 | | < 2 |
| 44 | | < 2 |
| 49 | | < 2 |
| 54 | | < 2 |
| 59 | 3300 | < 2 |

## TABLEAU 22

Purificateur C, désinfection de l'eau additionnée de bactéries - eau chaude, débit faible

Température de l'eau: 22°C

Débit: 3.8 L/min

Bactéries avant ensemencement (coliformes totaux): <2 par 100 mL

Concentration de la culture bactérienne d'ensemencement avant son passage dans la pompe péristaltique (coliformes totaux): $1.4 \times 10^7$ par 100 mL

| Temps écoulé | Coliformes totaux par 100 mL | |
|---|---|---|
| | Entrée | Sortie |
| 0 seconde | 5400 | 10 000 |
| 20 | | 32 |
| 40 | | 14 |
| 60 | | 8 |
| 80 | | 4 |
| 100 | | 2 |
| 120 | | < 2 |
| 7 minutes | 7000 | < 2 |
| 12 | | < 2 |
| 19 | | < 2 |
| 24 | | < 2 |
| 29 | | < 2 |
| 34 | | < 2 |
| 39 | | < 2 |
| 44 | | < 2 |
| 49 | | < 2 |
| 54 | | < 2 |
| 59 | 5500 | < 2 |

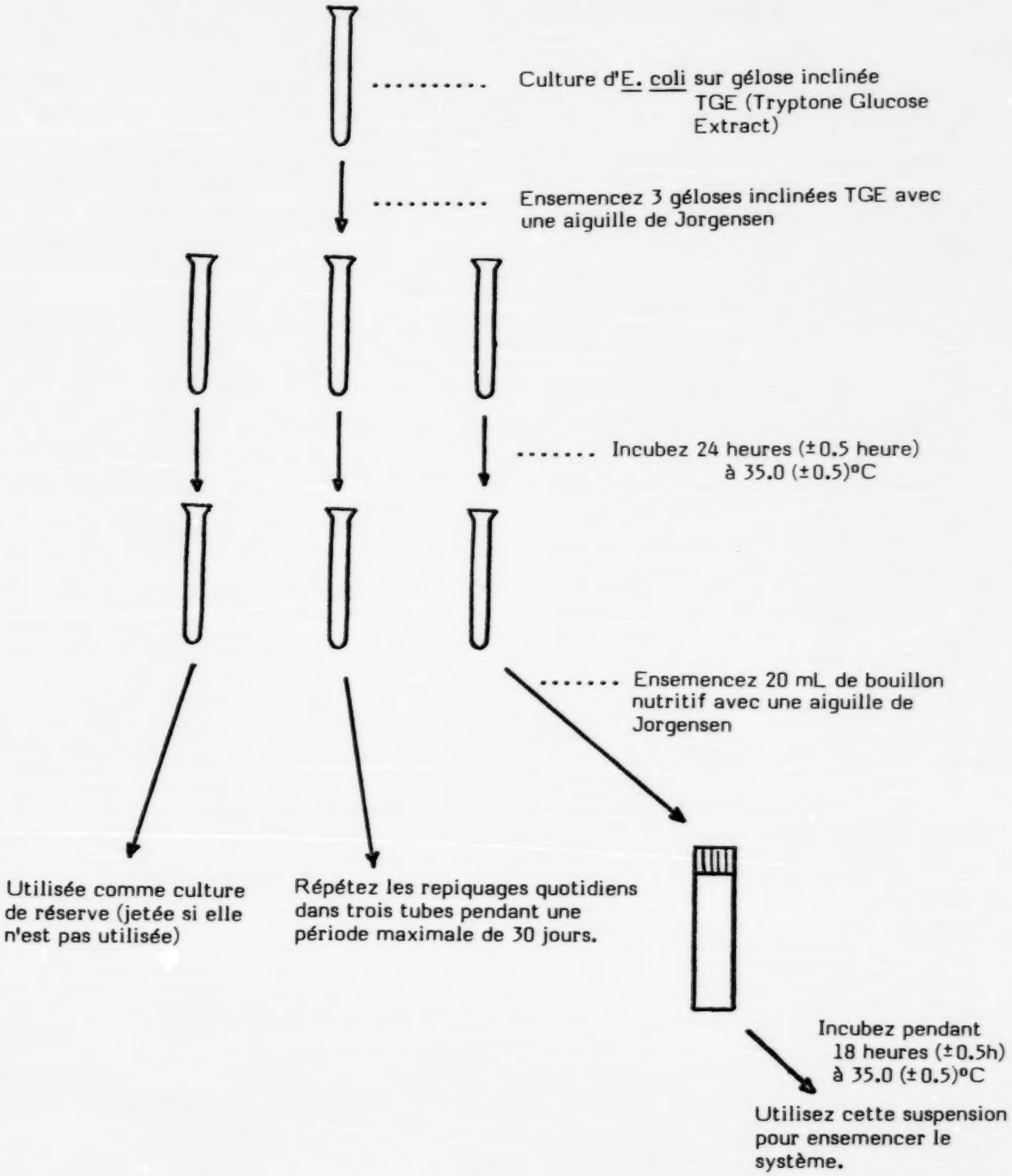



Figure 1. Protocole pour la conservation des cultures d'E. coli

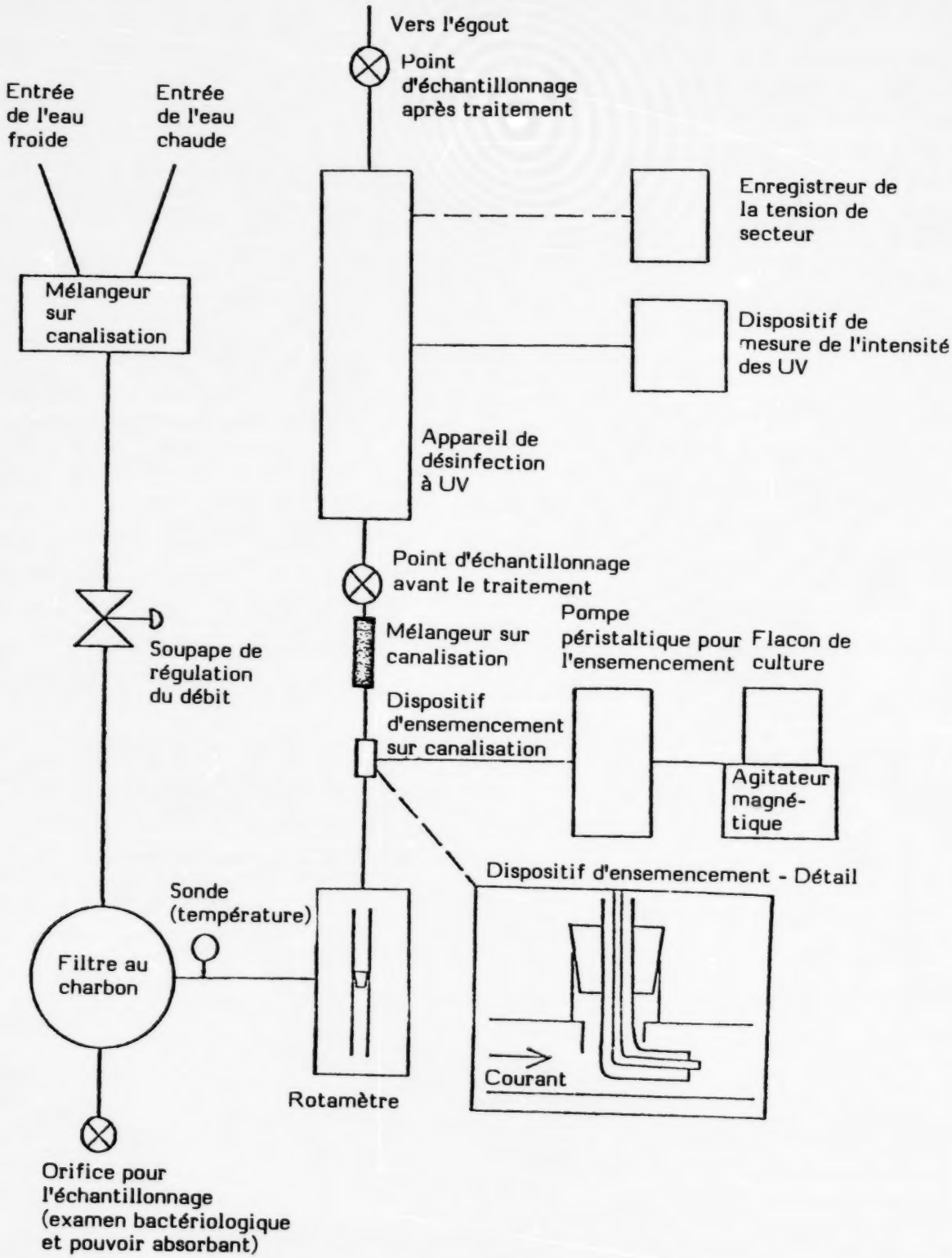



Figure 2. Schéma du système de mise à l'épreuve

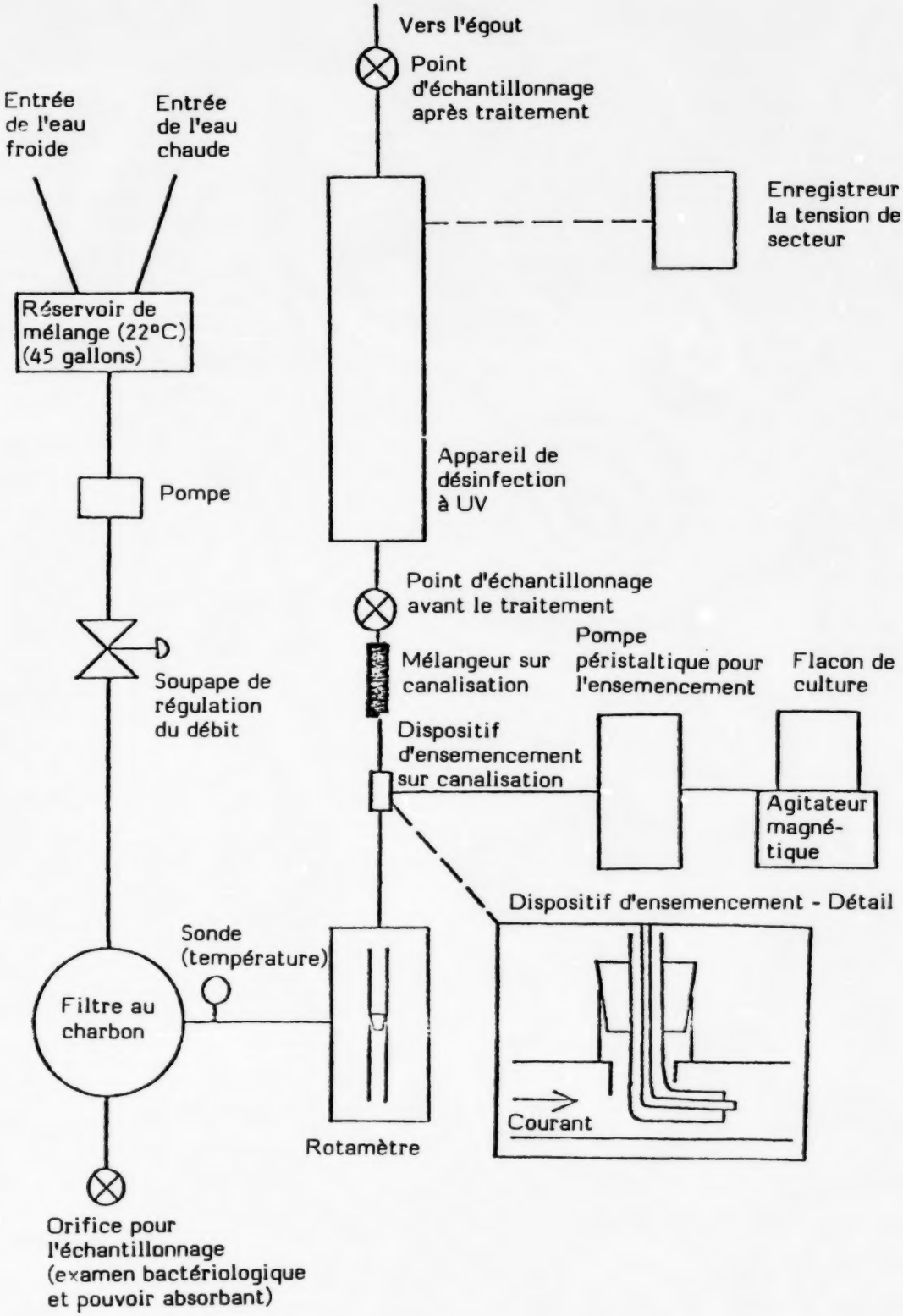
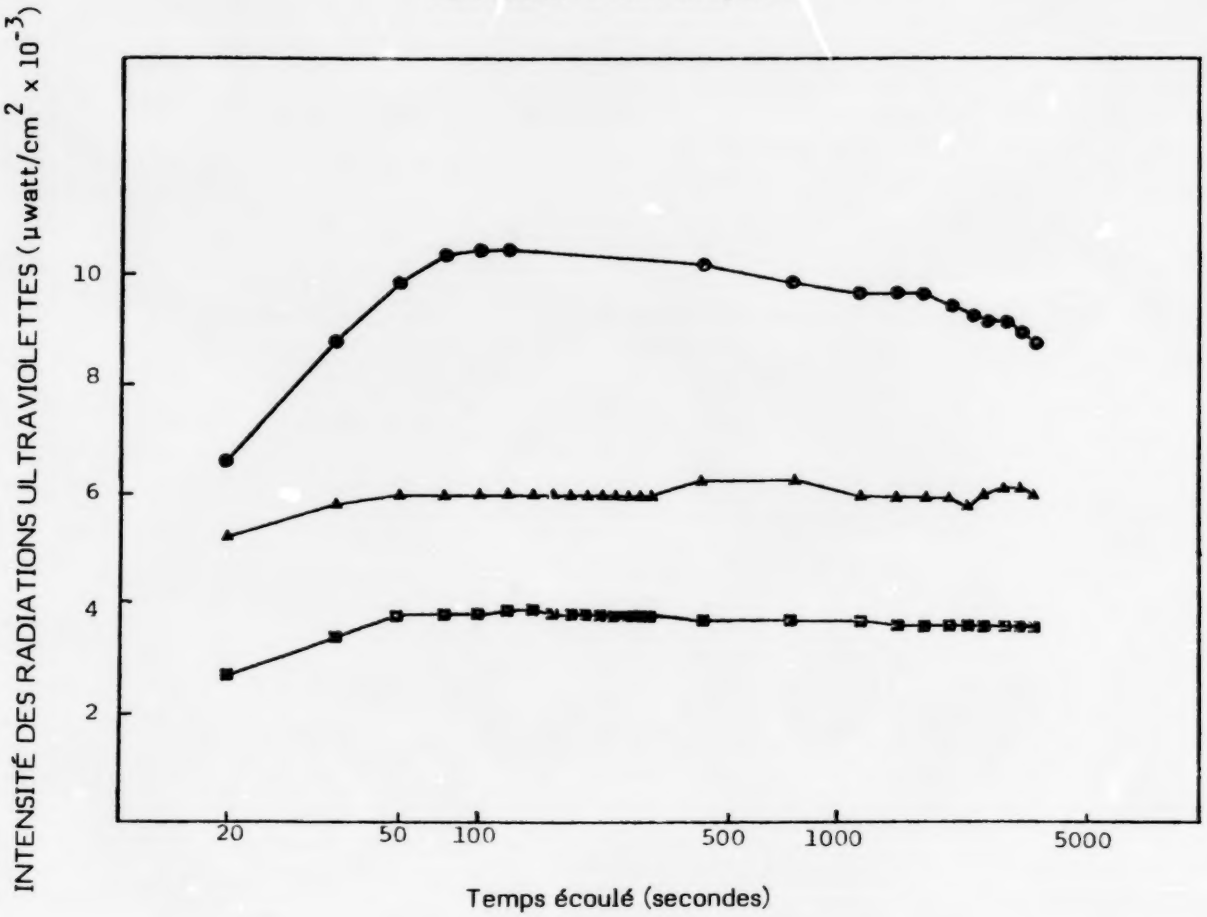



Figure 3. Schéma du système de mise à l'épreuve faible débit-eau chaude purificateur C

Conditions: débit élevé, 22°C




● Appareil A, 37.9 L/min

■ Appareil B, 37.9 L/min

▲ Appareil C, 15.1 L/min

Figure 4. Comparaison de l'intensité des radiations ultraviolettes des appareils mis à l'épreuve

Conditions: débit élevé, 4°C

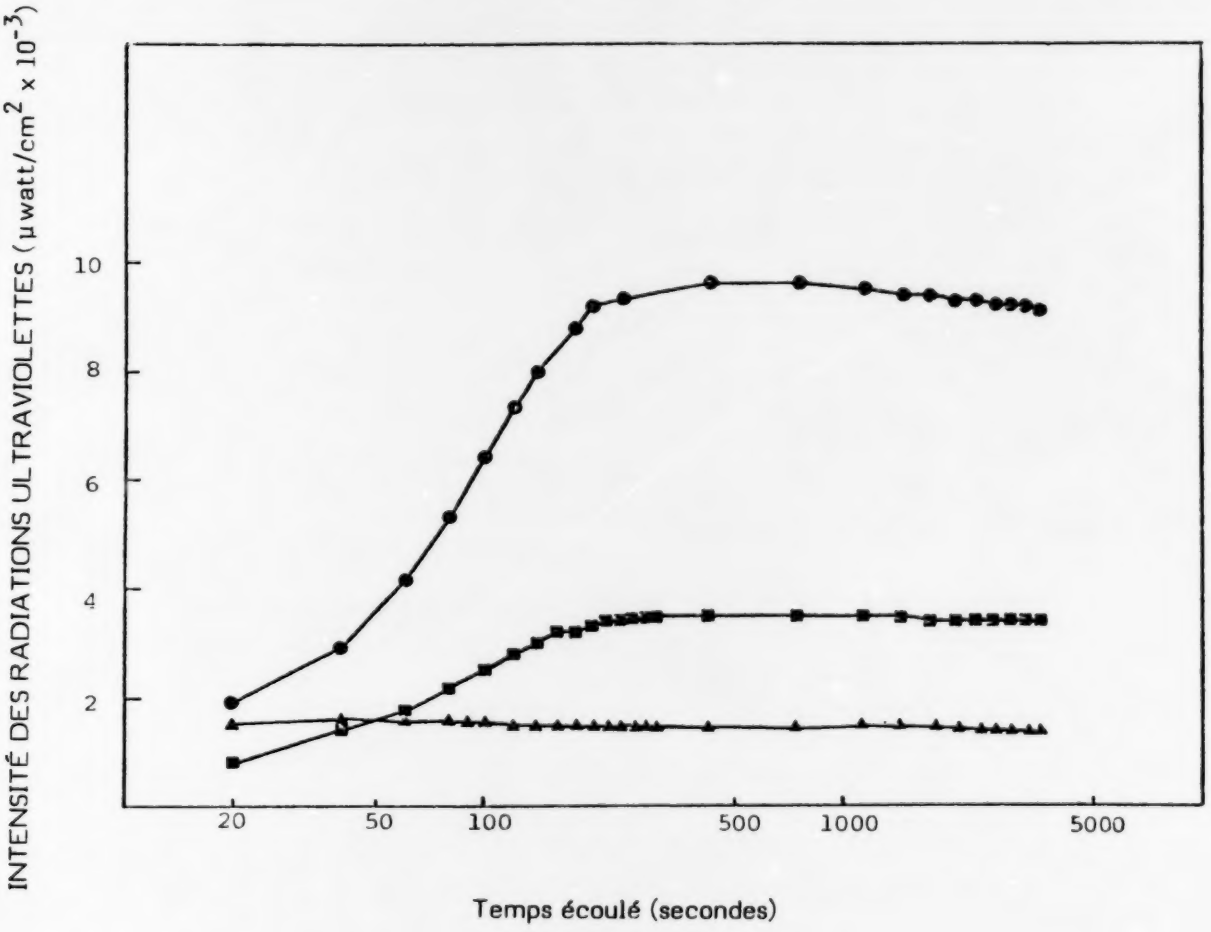



Figure 5. Comparaison de l'intensité des radiations ultraviolettes des appareils mis à l'épreuve

Conditions: débit moyen prévu par le constructeur, 22°C

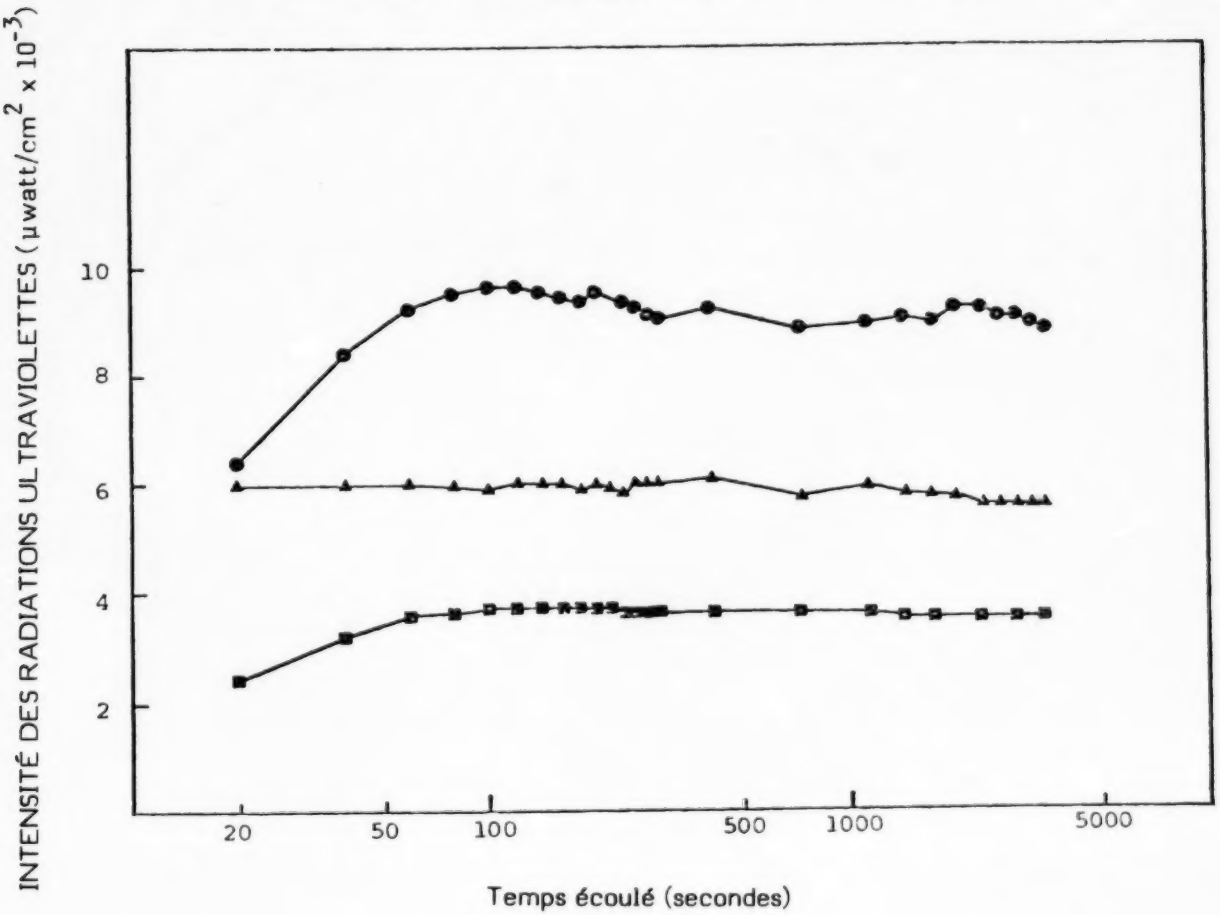



Figure 6. Comparaison de l'intensité des radiations ultraviolettes des appareils mis à l'épreuve

Conditions: débit moyen prévu par le constructeur, 4°C

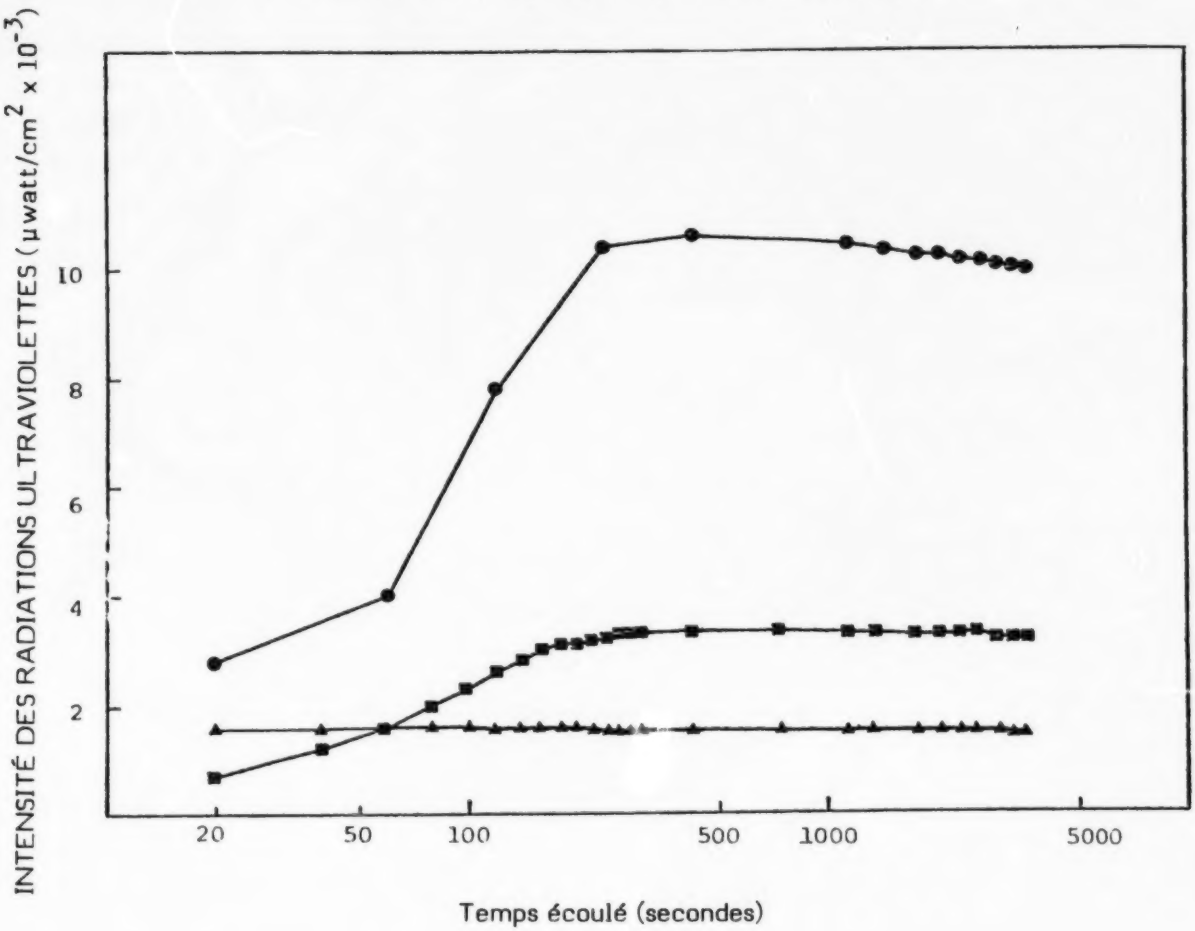



Figure 7. Comparaison de l'intensité des radiations ultraviolettes des appareils mis à l'épreuve

Conditions: débit moyen prévu par le constructeur, 22°C

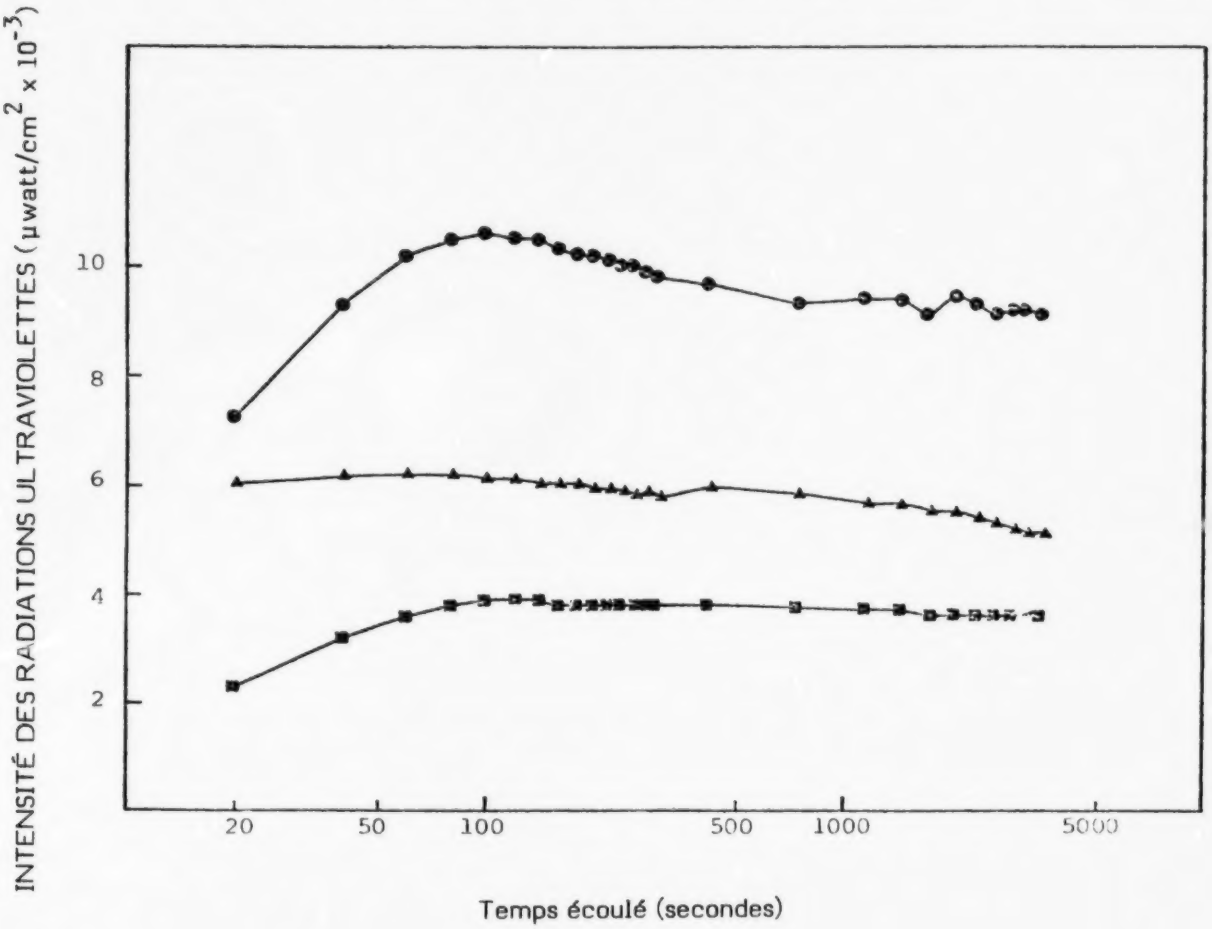



Figure 8. Comparaison de l'intensité des radiations ultraviolettes des appareils mis à l'épreuve

Conditions: faible débit, 4°C

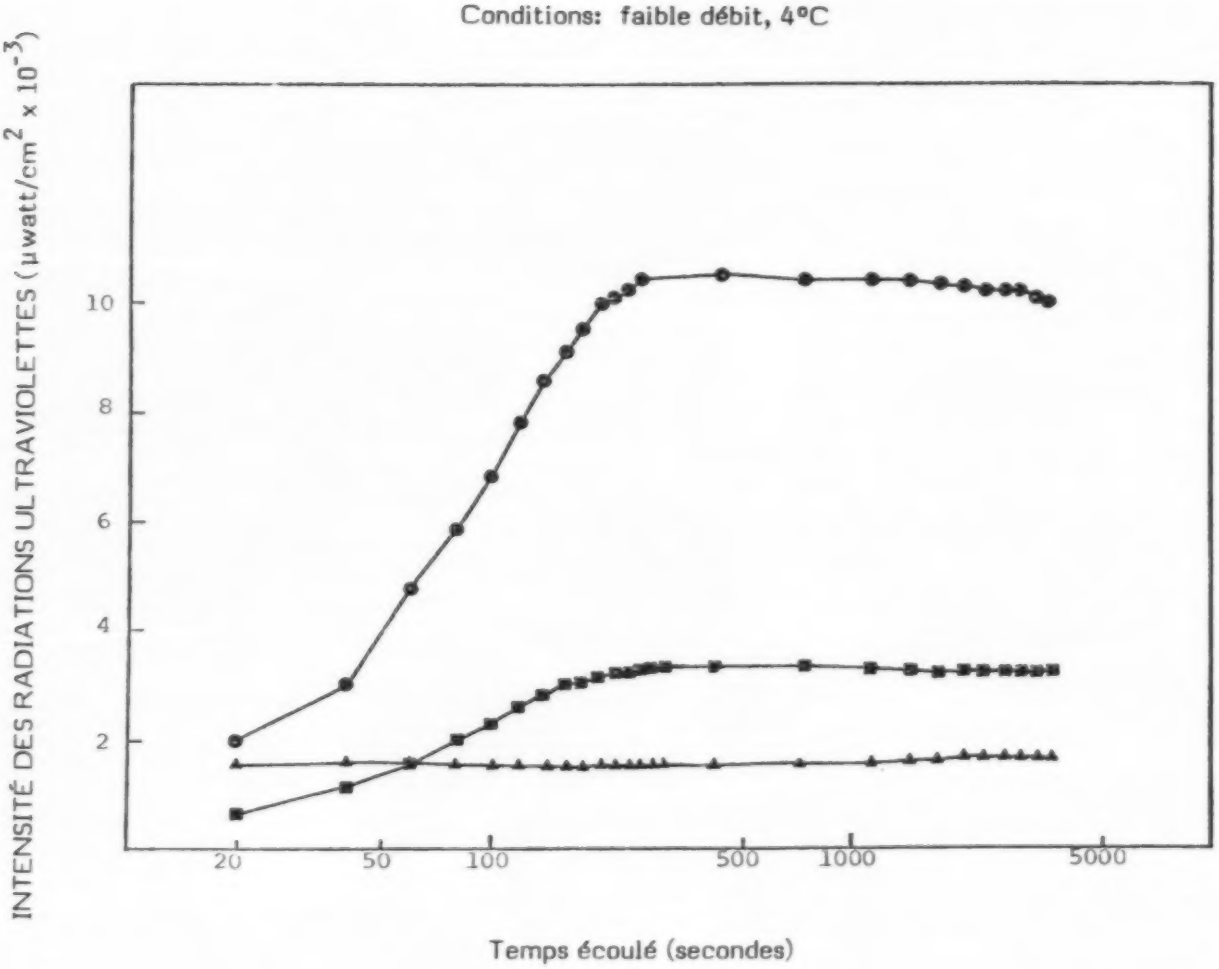



Figure 9. Comparaison de l'intensité des radiations ultraviolettes des appareils mis à l'épreuve

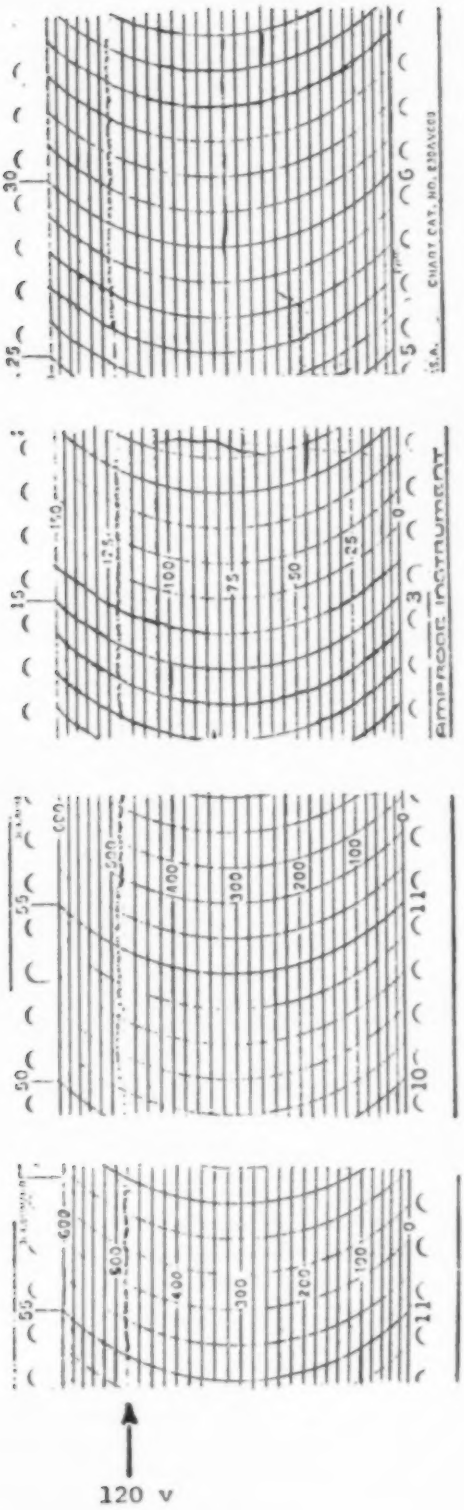



Figure 10. Tension de secteur caractéristique pendant une épreuve

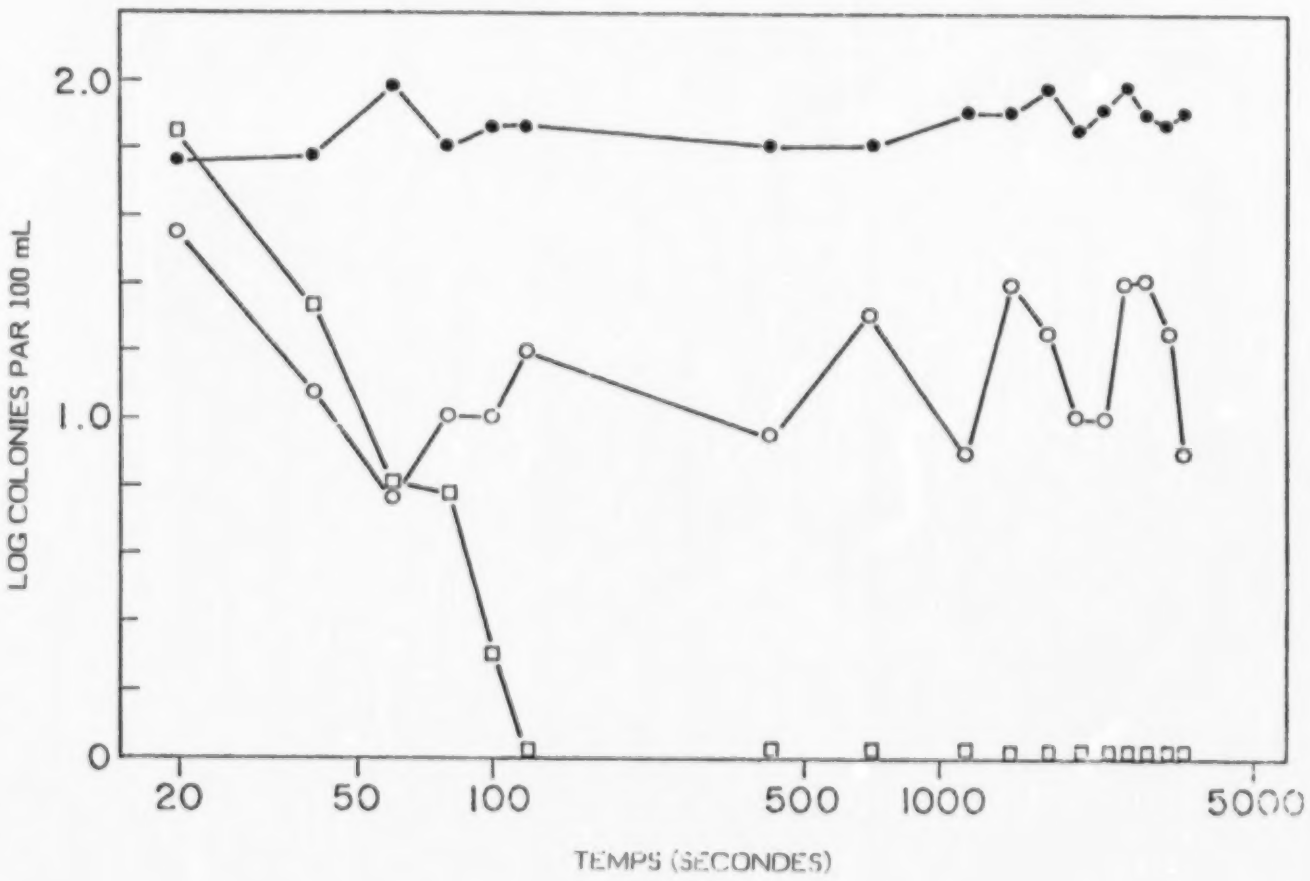



Figure 11. Récupérations des bactéries avec le purificateur C, à trois débits, dans une eau traitée à 4.1°C

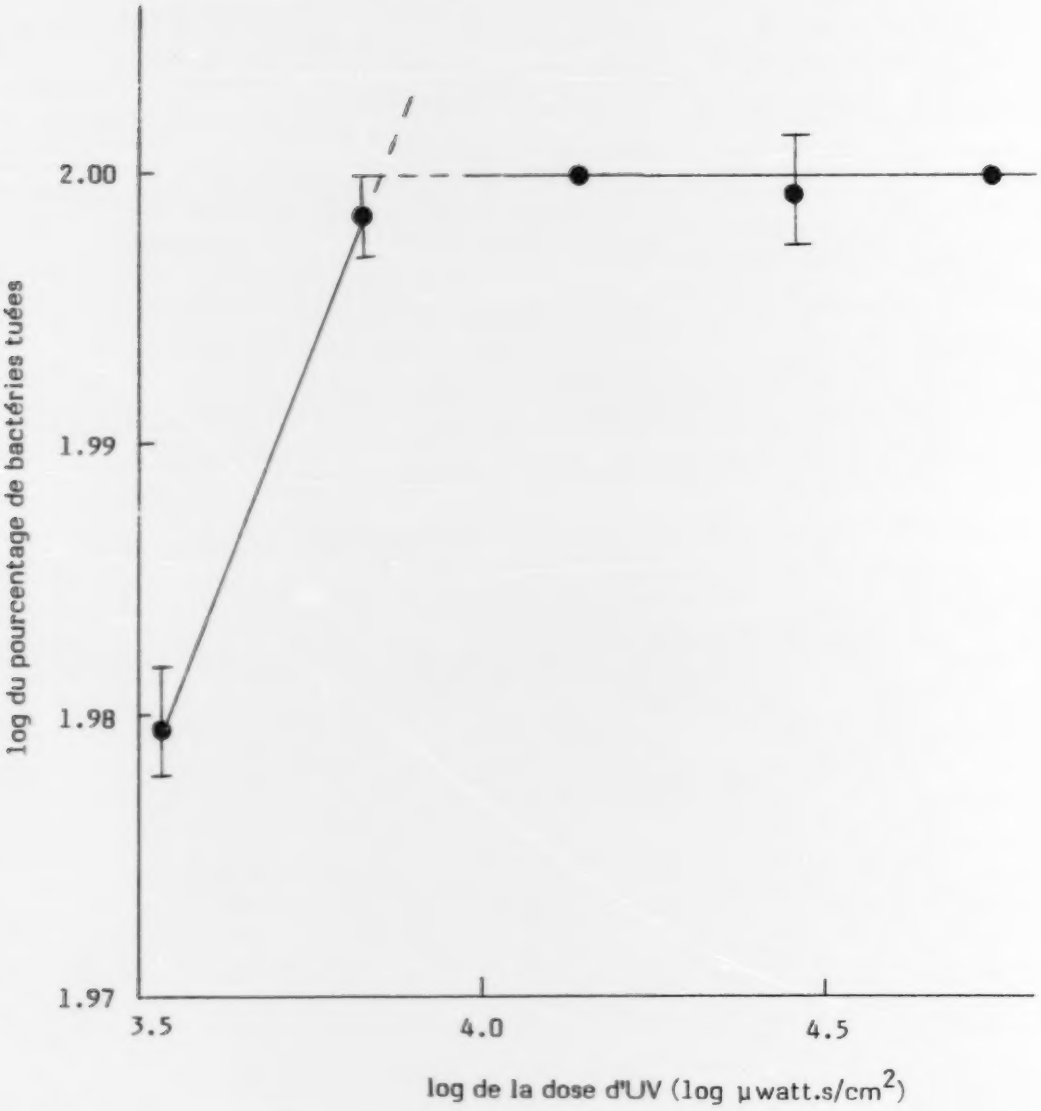



Figure 12. Relation entre le pourcentage de bactéries tuées et la dose de radiations ultraviolettes. Purificateur C, données combinées pour l'eau froide et l'eau chaude. Les points et les barres représentent les moyennes arithmétiques plus ou moins l'écart type de 12 échantillons prélevés après une période de réchauffement de 2 minutes.